

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 621.87:625.096

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271118.10.361

**ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ
ВЕЛИКОГАБАРИТНОЇ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБІТ ІЗ
ЛІКВІДАЦІЇ ЗАВАЛІВ НА ДОРОГАХ І ПРИЛЕГЛИХ
ТЕРИТОРІЯХ ДО ОБ'ЄКТА НС**

БЄЛІКОВ А. С.¹, *д-р техн. наук, проф.*,

КРЕКНІН К. А.², *інж.*,

НЕСТЕРЕНКО С. В.³, *канд. техн. наук, ст. викл.*

¹Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682.

²Кафедра будівельних і дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, Україна, 49005, тел. +38 (063) 653-25-99, e-mail: kirneh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1812-7400.

³Кафедра охорони праці та безпеки життєдіяльності, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, Харків, Україна, тел.: +38 (098) 402-06-37, e-mail: spriz.72@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8255-109X

Анотація. *Постановка проблеми.* Для розбирання масових завалів доцільне використання великогабаритної техніки зі спеціальним обладнанням. Визначити види та кількість засобів механізації дозволяють дані щодо характеру руйнувань об'єктів. Найважливіший елемент цих машин - робоче обладнання, досконалість якого визначає ефективність агрегатів. Один із перспективних напрямів удосконалення робочого обладнання бульдозерів - це застосування трисекційних шарнірно з'єднаних відвалом. *Мета досліджень* - розроблення теоретичної моделі для розбирання завалів, що накопичуються перед трисекційним відвалом, з урахуванням безпеки проведення робіт. *Висновок.* Розроблена теоретична модель досить об'єктивно відображає закономірність зміни форми і об'єму уламків, що накопичуються перед секційним відвалом, та може використовуватись для інженерного прогнозу цього показника і визначення небезпечної зони під час розбирання завалів.

Ключові слова: ліквідація завалів; підвищення безпеки; переміщення уламків

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
КРУПНОГАБАРИТНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ
ПО ЛИКВИДАЦИИ ЗАВАЛОВ НА ДОРОГАХ И ПРИЛЕГАЮЩИХ
ТЕРРИТОРИЯХ К ОБЪЕКТУ ЧС**

БЕЛИКОВ А. С.¹, *д-р техн. наук, проф.*,

КРЕКНИН К. А.², *инж.*,

НЕСТЕРЕНКО С. В.³, *канд. техн. наук, ст. препод.*

¹Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, г. Днiпро, Украина, 49005, тел. +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682.

²Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, г. Днiпро, Украина, 49005, тел. +38 (063) 653-25-99, e-mail: kirneh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1812-7400.

³Кафедра охраны труда и безопасности жизнедеятельности, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, ул. Маршала Бажанова, 17, 61002, Харьков, Украина, тел.: +38 (098) 402-06-37, e-mail: spriz.72@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8255-109X

Аннотация. *Постановка проблемы.* Для разборки массовых завалов целесообразно использование крупногабаритной техники со специальным оборудованием. Анализ выполнения работ по ликвидации последствий при обрушении зданий и сооружений свидетельствует о том, что применение крупногабаритных машин (бульдозеров, скреперов, автогрейдеров и т. п.) позволяет сократить время на разборку завалов на дорогах и прилегающих территориях объектов. В то же время отсутствуют обоснования их эффективного и безопасного применения при разборе завалов. Для таких видов работ необходимо совершенствование рабочего

оборудования крупногабаритной техники, в частности, бульдозеров. Определить виды и количество средств механизации позволяют данные по характеру разрушений объектов. Наиболее важным элементом этих машин является рабочее оборудование, совершенство которого определяет эффективность агрегатов. Одним из перспективных направлений совершенствования рабочего оборудования бульдозеров является применение трехсекционных шарнирно - соединенных отвалов. **Цель исследований** - разработка теоретической модели для разборки завалов. **Вывод.** Принятая расчетная схема и математические зависимости по определению объемов элементарных составляющих частей позволили предложить дееспособную математическую модель для прогноза величины призмы перемещения при транспортировке обломков.

Ключевые слова: ликвидация завалов; повышение безопасности; перемещение обломков

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE APPLICATION OF LARGE-SIZED MACHINERY IN THE PERFORMANCE OF WORKS ON THE ELIMINATION OF THE DEBRIS ON ROADS AND SUPPORTING TERRITORIES FOR EMERGENCY SITE

BIELIKOV A. S.¹, *Dr. Sc(Tech)., Prof.*,

KREKNIN K. A.², *Engineer*,

NESTERENKO S. V.³, *Cand. Sc. (Tech.), Senior lecturer.*

¹Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a Chernyshevskogo st., Dnipro, 49005, Ukraine, phone +38 (056) 756-34-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682.

²Department of Building and Road Machinery, State Higher Educational Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskogo st, Dnipro, 49600, Ukraine, phone +38 (063) 653-25-99, e-mail: kirmeh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1812-7400.

³Department of Labor Protection and Life Safety, Kharkiv National University of Urban Economy named after Beketov A.N., 17, Marshal Bazhanov st., Kharkiv, 61002, Ukraine, phone +38 (098) 402-06-37, e-mail: spriz.72@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-8255-109X

Abstract. Problem statement. For dismantling of mass debris, the use of large-sized machinery with special equipment is expedient. The analysis of the performance of works in the elimination of the collapse of buildings and structures suggests that the use of large-sized machinery (bulldozers, scrapers, motor graders, etc.) reduces the time for dismantling debris on roads and supporting areas of site. At the same time, there are no justifications for their effective and safe use in the analysis of debris, there is no possibility to predict the complexity and timing of such work. For these types of work, it is necessary to improve the working equipment of large-sized machinery, in particular bulldozers. To determine the types and number of mechanization allow data concerning the destruction of facilities. The most important element of these machines is the working equipment, the perfection of which determines the efficiency of these units. One of the perspective areas for improving the working equipment of bulldozers is the use of three-section hinged and connected dumps. **The aim of research.** The purpose of this work is to develop a theoretical model for disassembling debris which accumulates in front of a three-section dumps. **Conclusion.** The approved calculated scheme and mathematical dependencies to determine the volume of elementary components allowed to propose a viable mathematical model for predicting the size of the displacement prism during the transportation of debris, both with traditional and sectional dumps, and to identify dangerous areas. Developed theoretical model fairly objectively reflects the change of the shape and volume of debris, which accumulate before the sectional dumps and can be used in the engineering forecast of this indicator and the determination of the danger zone when performing work on dismantling debris.

Keywords: *elimination of debris; increasing of safety; moving of the rubbles*

Постановка проблеми. Масове використання великогабаритної землерийної техніки в різних галузях застосування потребує постійного удосконалення її конструкції та технологічних показників. Найважливіший елемент цих машин - робоче обладнання, досконалість якого визначає ефективність цих агрегатів. Один із перспективних напрямів удосконалення робочого обладнання бульдозерів - це застосування трисекційних шарнірно -

з'єднаних відвалів з урахуванням безпеки робіт.

Аналіз публікацій. Аналіз робіт, що присвячені процесам призмозтворення під час розчистки завалів відвальними робочими органами показав відсутність досліджень, що відносяться до шарнірно з'єднаних систем відвалів. Це суттєво ускладнює теоретичний прогноз ефективності таких технічних рішень та порушує безпеку процесів ліквідації завалів.

Мета і завдання - розроблення теоретичної моделі для визначення об'єму уламків, що накопичуються перед трисекційним відвалом із повернутими вперед боковими секціями під час розчищення завалів та визначення безпечної зони.

Виклад матеріалу. Відсутність постійного нагляду за належним станом будівель і споруд, невідповідність експлуатації технологічного обладнання нормам та правилам, як свідчить статистика [1], спричинює надзвичайні ситуації (НС), при яких відбувається руйнування будівельних конструкцій та споруд у цілому. Для ліквідації наслідків НС, що пов'язані з проведенням аварійно-рятувальних та ремонтно-відновних робіт, застосовуються машини та обладнання. У процесі руйнуванні будівель виникають завали від уламків будівельних конструкцій та технологічного обладнання, тому виникає необхідність у розбиранні завалів, ліквідації аварійних ситуацій, демонтажі та монтажі конструкцій і обладнання [2].



а



б



в



г

Рис. 1. Пошкоджені вибухами газу житлові будинки: а – м. Дніпро (2007 р.); б – м. Миколаїв (2007 р.); в – м. Рязань (2016 р.); г – м. Українськ (Донецька обл., 2016 р.)

Споруди та будівлі можуть бути зруйновані або пошкоджені від дії техногенних катастроф, природних явищ, аварій та інших НС.

Причинами виникнення техногенних катастроф і аварій, пов'язаних із руйнуванням будівель і споруд, стають:

- збільшення навантажень на будівлі і споруди понад нормативні значення і під час їх експлуатації непередбачених проектами впливів на конструкції [3; 4];

- зниження в процесі експлуатації міцності елементів конструкцій, будівель і споруд від дії різноманітних чинників: вологості, зміни температури, механічного зносу й інших;

- неякісні будівельні та ремонтні роботи, порушення норм їх виконання, а також несвоєчасне виконання ремонтів.

Аналіз показав, що аварія відбувається, коли порушується виконання проектних рішень і нормативних характеристик, виготовлення заводських

виробів, монтажу будівлі. В окремих випадках будівлі, їх конструктивні елементи та обладнання отримують ушкодження в результаті сумарної дії різних факторів.



а



б

Рис. 2. Руйнування будівель від механічного зносу:
а – м. Шахтинськ (Карагандинська обл. 2017 р.);
б - м. Васильків (Київська обл., 2016 р.)

Установлено, що причиною багатьох випадкових вибухів виявляються порушення норм та правил користування газом. Великі катастрофи через вибух газу відбулися (рис. 1): в м. Дніпропетровськ (2007 р.), в м. Євпаторія (2008 р.), в м. Астрахань (2012 р.), а також з обмеженими руйнуваннями: в 2009 р. в м. Луганськ, в 2012 р. в м. Харків, в 2014 р. в м. Миколаїв і в 2016 році в м. Українськ (Донецька обл.). Залежно від параметрів і напрямку вибуху, типу споруд і їх кількості змінюється характер руйнувань, структура завалів і умови виконання робіт.

Руйнування будівель відбувається через зниження в процесі експлуатації міцності конструкцій будівельних об'єктів від дії механічного зносу, особливо корозії місць

з'єднання елементів залізобетонних виробів (рис. 2, а) і втомних явищ у будівельних конструкціях (рис. 2, б).



а



б

Рис. 3. Будинки в м. Дніпро без ремонту, стан яких погіршується:
а - вул. Січових Стрільців, 28;
б – по пр. Яворницького, 43

Нежитлові будівлі, що вимагають ремонту, з плином часу можуть руйнуватися від дії температури, вологи і стати джерелом підвищеної небезпеки (рис. 3).

На території України найбільше поширені зсуви, повені, урагани, смерчі, які спричинюють значні руйнування будівель (рис. 4).

У зв'язку з викладеним доцільно розглянути і провести аналіз проведення аварійно-рятувальних та відновних робіт, які виконуються під час ліквідації наслідків вибухів побутового газу.

У низці праць проведено дослідження руйнування будівельних конструкцій, коли джерело вибуху газу розміщується на

нижніх і середніх поверхах будівель. Отримані результати дозволяють із певною ймовірністю прогнозувати масштаби і характер руйнувань будівельних конструкцій, що дозволяє формувати сили і засоби для ліквідації наслідків НС. Однак, як показав аналіз аварій [5], останнім часом вибухи газу часто відбуваються у верхніх частинах будівель, руйнуючи в першу чергу дахи, верхні технічний і житлові поверхи.

При цьому розліт уламків найбільший, що викликає до блокування транспортних комунікацій (доріг). Відсутність досліджень про характер таких руйнувань не дозволяє ефективно і безпечно проводити роботи в повному обсязі, що зумовлює необгрунтованість прийнятих рішень під час організації та проведення аварійно-відновних і ремонтно-будівельних робіт. Тому для успішного розбирання і розчищення завалів із застосуванням необхідних технічних засобів слід вивчити характер руйнувань у житлових і промислових будівлях, пов'язаних з обваленням будівельних конструкцій на транспортні комунікації.

У теоретичних дослідженнях безпеки виконання робіт як один із критеріїв використовують техногенний ризик. Для цього застосовують теоретико-вірогідний метод, коли ризик визначається як множення двох випадкових величин: Q – вірогідність наслідків НС (аварій, вибухів) і C – збиток від наслідків.



а



б



в

Рис. 4. Вплив природних явищ: а - залишки будівель після зсуву в м. Дніпропетровськ, 1997 р.; б, в - рух смерчу і пошкоджені будинки в с. Волоське, Дніпропетровська обл. (2015 р.)

Згідно Міжнародної організації праці та наукових досліджень [6] встановлено, що тривалість часу ліквідації наслідків аварій τ_T описується за допомогою розподілу Ерланга:

$$\Phi_{(\tau_T)} = \frac{(\mu \cdot \tau_T)^r}{r} e^{-\mu \cdot \tau_T}; \quad (1)$$

$$(\tau > 0; r = 0, 1, 2, \dots);$$

де: μ – постійний параметр;
 r – порядок розподілу Ерланга.

При цьому, з урахуванням вірогідності того, що τ_T буде не меншим значенням τ (нормативне значення) згідно з [7]. Тому, з

урахуванням вірогідності ризику $\varepsilon_{н.р.}$ проведення робіт за межею нормативного значення часу τ_H , можна визначити кількість непередбачених робіт із розбирання руйнувань, які будуть перевищувати даний час. У такому разі за $\varepsilon_{н.р.} = 0,1$ із десяти випадків для одного тривалість часу розбирання завалу буде перевищувати нормативний час τ_H ;

$$P(\tau_T \geq \tau_H) \leq \varepsilon_{н.р.}; \quad (2)$$

Аналіз процесу ліквідації наслідків НС свідчить, що з зменшенням значення ризику травмування працівників під час розбирання конструкцій зумовлює збільшення часу ліквідації наслідків НС.

Застосування під час ліквідації НС імітаційної моделі «Тигрис» та моделі Нью-Йоркського Ренд-інституту дозволяє прогнозувати безпеку та ефективність аварійно-відновних та рятувальних робіт, але фактичний основний показник, який характеризує результативність дій спеціальних підрозділів під час розбирання завалів і демонтажу конструкцій та обладнання – час його проведення - не враховує технологічні процеси розбирання руйнувань. Крім того, одержані рішення після моделювання не розглядають ризик при веденні робіт із ліквідації завалів та руйнувань будівельних конструкцій та обладнання.

Для визначення ризику у процесі ліквідації наслідків НС ми б прийняли залежність визначення часу ліквідації завалу та доступу до об'єкта для виконання основних робіт, згідно з методикою визначення ризику збільшення часу ліквідації НС.:

$$\tau_{л.з} = \tau_{в.ч} + \tau_{в.о} + \tau_{о.і} + \tau_{з.е.з} + \tau_c + \tau_p + \tau_{л.з}; \quad (3)$$

де $\tau_{в.ч}$ - час із моменту виявлення НС, (згідно з рекомендаціями щодо визначення евакуації і оповіщення від 3 до 6 хв);

$\tau_{в.о}$ - час із моменту оповіщення керівних служб (від 3 до 4 хв);

$\tau_{о.і}$ - час від обробки інформації (до 1 хв [25]);

$\tau_{з.е.з}$ - час на прийняття рішень, застосування тих чи інших сил та засобів (3 хв згідно з наказом УМВС України № 325 від 01.07.1993 р. та 1 хв на збір особового складу підрозділу);

τ_c - час слідування до об'єкта НС (15 хв згідно з постановою Кабінету Міністрів від 27.11.2013);

$\tau_{л.з}$ - час ліквідації завалу, розбирання руйнувань (який можна прогнозувати з урахуванням складу аварії).

Що стосується прогнозування часу ліквідації наслідків НС, то він, повною мірою, залежить від виконання технологічних процесів розбирання конструкцій, завалів та звільнення потерпілих. Тому виникла необхідність провести дослідження процесів розбирання руйнувань будівель із використанням засобів механізації та визначення критеріїв ефективності та безпеки.

На основі аналізу проведення робіт із ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, що пов'язані з руйнуванням будівель, споруд і транспортних мереж, та досліджень із цієї проблеми, запропоновано оцінювати ефективність та безпеку процесів розбирання руйнувань та використання засобів механізації такими показниками та вимогами до них.

У процесі виконання технологічних процесів розбирання руйнувань та рятувальних робіт, коли головним параметром є час розбирання завалів для звільнення потерпілих:

1. Як показують дослідження та аналіз НС, тривалість T_p розбирання завалу повинна бути найменшою з урахуванням безпеки життєдіяльності потерпілих:

$$T_p = \sum T_i \rightarrow \min, \\ T_p \leq T_\phi = 6 \dots 120 \text{ годин}, \quad (4)$$

де T_i - тривалість виконання окремих процесів;

T_ϕ - чинник часу на розбирання тих частин завалу, де можливе перебування потерпілих.

2. Середня продуктивність Π виконання робіт з урахуванням особливостей завалу:

$$\Pi = \sum \left(\frac{V}{T_p} \right) \rightarrow \max, \quad (5)$$

де V - об'єм розробленого завалу.

3. Тривалість робочого циклу T_u засобів механізації:

$$T_u = \sum t_{onp.i} \rightarrow \min, \quad (6)$$

де $t_{onp.i}$ - тривалість окремих робочих операцій засобів механізації.

З урахуванням використання машин та обладнання згідно з теорією надійності вірогідність безвідмовної роботи R_t будь-якої системи під час виконання технологічних операцій з розбирання завалу може змінюватися, а вірогідність відмови може бути визначена з умови:

$$F(t) = 1 - R(t); \quad (7)$$

Вірогідність відмови техніки спричинює збільшення часу виконання робіт та підвищує ризик травмування та загибелі людей в завалах.

Згідно з аналізом положень теорії надійності для визначення моделі ризику ліквідації наслідків НС може бути використаний розподіл Вейбулла, щільність якого визначається із залежності:

$$f(\tau) = \frac{b}{a} \left(\frac{\tau}{a} \right)^{b-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{\tau}{a} \right)^b \right]; \quad (8)$$

де a - параметр масштабу (середнє значення відпрацювання техніки на відмову T_0);

b - параметр форми щільності розподілу;

τ - дійсне значення напрацювання техніки.

Безперервний час відпрацювання на відмову наведено в стандартах (нормативах), або може бути визначений:

$$T_0 = \frac{1}{m_k} \sum_{i=1}^k T_{oi}, \quad (9)$$

де T_{oi} - час безперервної роботи техніки після відновлення між зміжними відмовами;

k - загальна кількість відмов під час дослідження N техніки;

m_k - математичне очікування кількості відмов N техніки до відпрацювання T_0 :

$$m_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_i, \quad (10)$$

де K_i - одинична відмова за час T_{oi} безперервної роботи техніки.

З урахуванням задіяних технічних засобів механізації тривалість виконання робіт із розбирання завалів може бути прогнозована, що дозволяє визначити додаткову техніку та людські ресурси для забезпечення безпеки життєдіяльності потерпілих у завалах та виконання в цілому аварійно-відновних робіт.

4. Питомі показники фактичного виконання робіт та окремих операцій з урахуванням безпеки їх виконання:

$$\frac{\Pi}{T_\phi} \rightarrow \max; \quad \frac{\Pi}{T_u} \rightarrow \max. \quad (11)$$

5. Кількість засобів N_P^M механізації для розбирання частин завалів, у яких перебувають потерпілі, з урахуванням прогнозу настання відмови в роботі засобів механізації:

$$N_P^M = \sum \left(\frac{T_p}{T_u} \right) \rightarrow \min. \quad (12)$$

Під час виконання технологічних процесів ремонтно-відновних робіт, коли основну вимогу становить зниження собівартості робіт, необхідно враховувати ремонтно-відновні роботи з урахуванням затрат на безпеку праці згідно з нормативами з охорони праці:

1. Економічні витрати y на розбирання завалу:

$$y = C_{TE} + K \rightarrow \min, \quad (13)$$

де C_{TE} – поточні експлуатаційні витрати з урахуванням затрат на охорону праці;
 K – капітальні витрати.

2. Питомі витрати на ремонтно-відновні роботи:

$$y_o = \frac{y}{\Pi} \rightarrow \min. \quad (14)$$

1. Продуктивність Π виконання ремонтно-відновних робіт з урахуванням охорони праці:

$$\Pi = \sum \left(\frac{V}{T_p} \right) \rightarrow \max. \quad (15)$$

2. Тривалість T_p виконання робіт:

$$T_p = \sum T_i \rightarrow \min. \quad (16)$$

3. Тривалість робочого циклу T_u засобів механізації:

$$T_u = \sum t_{onp.i} \rightarrow \min. \quad (17)$$

4. Питомі показники

$$\frac{\Pi}{M} \rightarrow \max; \quad \frac{\Pi}{N} \rightarrow \max; \quad \frac{\Pi}{T_u} \rightarrow \max;$$

$$\frac{\Pi}{T_p} \rightarrow \max, \quad (18)$$

де M – маса засобів механізації;

N – потужність засобів механізації.

5. Кількість засобів N_B^M механізації для розбирання руйнувань під час ремонтно-відновних робіт:

$$N_B^M = \sum \left(\frac{T_p}{T_u} \right) \rightarrow \min. \quad (19)$$

Аналіз виконання робіт із ліквідації наслідків від обвалення будівель і споруд свідчить [8], що застосування великогабаритних машин (бульдозерів, скреперів, автогрейдерів тощо) дозволяє скоротити час на розбирання завалів на дорогах та прилеглих територіях об'єктів. У той же час відсутні обґрунтування їх ефективного та безпечного застосування під час розбирання завалів, що не дозволяє прогнозувати складність та час виконання таких робіт. Для них необхідне удосконалення робочого обладнання великогабаритної техніки, зокрема, бульдозерів.

Аналізуючи конструктивні особливості трисекційних відвалів бульдозерних агрегатів, слід зазначити, що найважливішим режимом їх роботи є процес транспортування в умовах накопичення перед відвалом максимальної кількості уламків, що являє собою визначальний фактор підвищення продуктивності та зниження енергоємності виконуваних робіт [9].

Теоретична оцінка форми та об'єму призми переміщення, що утворюється перед трисекційним відвалом із повернутими вперед боковими секціями, дозволяє оптимізувати параметри робочого органа і режими його роботи та визначення зони небезпеки.

Процес призоутворення супроводжується інтенсивним рухом уламків перед лобовою частиною відвала та розвалу уламків за зону дії робочого органа в бокові валки.

Дослідженнями встановлено, що у міру переміщення робочого органа в забої величина втрат уламків у бокові валки постійно збільшується, це зумовлює зростання енергоємності процесу переміщення та збільшення шляху формування максимальної призми переміщення, що визначає і збільшення зони небезпеки. Найбільші втрати уламків в бокові валки спостерігаються на прикінцевій стадії переміщення, коли кількість уламків, що транспортується із забою, дорівнює кількості, що втрачається в

бокові валки. Як показують експериментальні дослідження, величина втрат уламків у бокові валки тісно пов'язана з висотою тієї частини призми переміщення, що прилягає до поверхні відвала. Після досягання висоти відвала такі втрати набувають максимального значення і настає рівновага між масами уламків, які переміщуються та втрачаються за межі робочого органа, що утруднює визначення зони небезпеки під час виконання робіт [10].

Проектуючи такі відвали, необхідно враховувати конструктивні та кінематичні особливості складових частин, які визначають форму лобової (внутрішньої) частини та максимальну кількість ґрунту, що може накопичуватись перед ними. Особливість кінематики шарнірно з'єднаних відвалів із нахиленими осями полягає в тому, що при повороті бокових секцій вперед леза їх ножів нахилиються відносно леза середньої секції вниз під кутом δ , як показано на рис. 5, а лобові частини нахилиються вперед, суттєво впливаючи на фронтальну проекцію робочого органа. Для визначення геометричних параметрів фронтальної проекції трисекційного відвала з нахиленими осями бокових секцій, що повернуті вперед на кут α , була розглянута розрахункова схема, показана на рисунку 5.

На схемі видно, що поворот бокової секції відносно осі 00_1 з початкового положення ($\alpha = 0$), коли нижній A і верхній A_1 кути секції знаходяться в площині середньої секції, на кут $\alpha \neq 0$, вказані кутові точки переміщуються в нахилених під кутом β площинах, перпендикулярних фронтальній проекції. Колові траєкторії кутів A і A_1 у цих площинах являють собою напрямні прямі відповідно $m - n$ і $m_1 - n_1$. Видно, що зі збільшенням кута повороту α зростають вертикальні координати h і h_1 , які зумовлюють зміну форми фронтальної проекції відвала. Величина цих координат, як видно з рисунка, залежить від кута нахилу осей шарнірів $0 0_1$ і кута повороту бокових секцій:

$$\delta h = b \cdot \sin \beta (1 - \cos \alpha); \quad (20)$$

$$\delta h_1 = b_1 \cdot \sin \beta (1 - \cos \alpha). \quad (21)$$

Вильоти точок A і A_1 в поперечному напрямку визначаються за формулами:

$$l = b [1 - \cos \beta (1 - \cos \alpha)]; \quad (22)$$

$$l_1 = b_1 [1 - \cos \beta (1 - \cos \alpha)]; \quad (23)$$

Наведені залежності (20-23) дозволяють на основі конструктивних параметрів складових частин відвала визначити його фактичну довжину та форму поперечного перетину об'єму уламків, що транспортуються.

Зокрема, довжина відвала при повернутих уперед бокових секціях на кут α по ножовій системі дорівнює:

$$B = a + 2l = a + 2b [1 - \cos \beta (1 - \cos \alpha)]; \quad (24)$$

а по верхньому перетину –

$$B_1 = a_1 + 2l_1 = a_1 + 2b_1 [1 - \cos \beta (1 - \cos \alpha)]; \quad (25)$$

Унаслідок нахилу лез бокових секцій при повороті їх на кут α площа поперечного перетину уламків зростає на величину трикутника $0 A' M$ з кожної сторони. Геометричні параметри кожного трикутника визначаються сторонами l' і h , які забезпечують технологічні вимоги до утвореного профілю транспортіваних уламків.

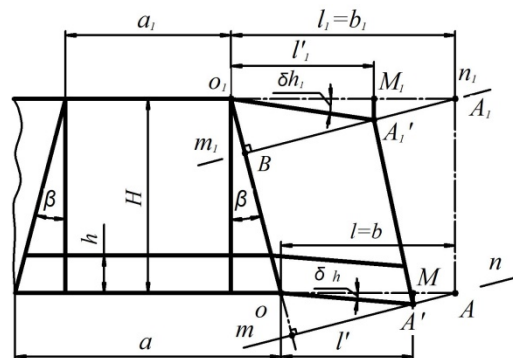


Рис. 5. Схема фронтальної проекції трисекційного відвала з нахиленими осями шарнірів бокових секцій

Під час роботи трисекційного відвала уламки, що переміщуються, спочатку заповнюють робочу частину відвала за мінімальних втрат у бокові валки оскільки

бокові секції спрямовують уламки на середню частину завдяки кутовому нахилу до траєкторії руху. При заповненні внутрішньої частини робочого органа подальше наростання призми переміщення відбувається таким же чином, як і в лінійних (традиційних) відвалах. Тобто, передня частина призми формою нагадує тригранну призму, що виходить за межі відвала. Такі спостереження дозволяють запропонувати спрощену формулу маси уламків, що накопичуються перед трисекційним відвалом на кінцевій стадії переміщення (рис. 6).

Враховуючи складність дійсної форми призми переміщення, що накопичується перед трисекційним відвалом, прийняли такі припущення: 1 – трисекційний відвал являє собою конструкцію, що складається із трьох щитів, причому бокові щити шарнірно з'єднані до центральної під кутом β ; 2 – бокові секції відвала відносно до середньої повернуті вперед під кутом α ; 3 – на кінцевій стадії транспортування зовнішня форма призми переміщення являє собою фігуру, що обмежується площинами лобової частини та передньої примикаючої площини, нахиленої до горизонту під кутом природного відкосу φ_0 ; 4 – уламки в призмі переміщення являють собою сипке середовище з внутрішнім тертям і зчепленням.

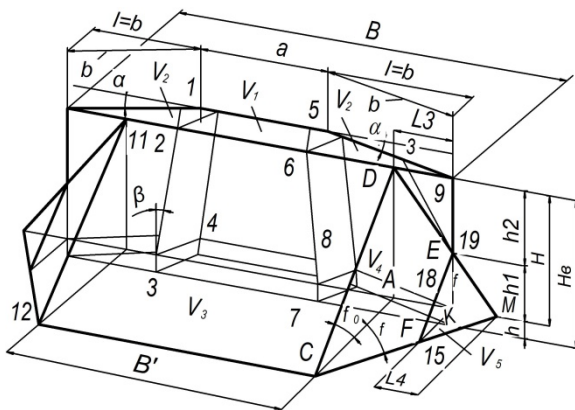


Рис. 6. Розрахункова схема до визначення об'єму призми переміщення

Відповідно до схеми (рис. 6.) призму переміщення можна показати у вигляді окремих елементів (рис. 7).

Основні конструктивні параметри робочого органа відповідно до схеми такі:

- довжина середньої секції a ;
- довжина бокових секцій b ;
- висота робочого органа H ;
- кут повороту бокових секцій α ;

При цьому необхідно враховувати максимальну зону небезпеки для оточуючих за призмою переміщення $L_{\text{небезпеки}}$.

Режим взаємодії робочого органа з уламками визначається товщиною шару уламків, що переміщуються із поверхні h , і швидкістю пересування бульдозерного агрегата V_K .

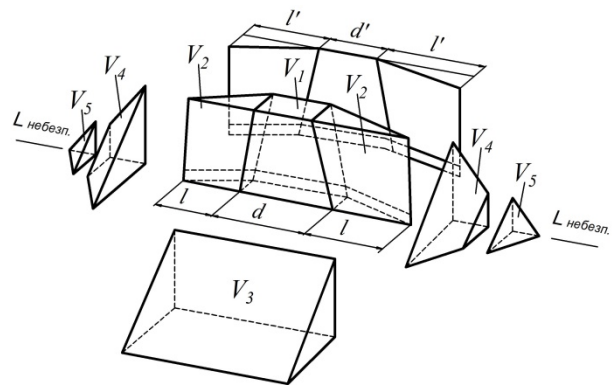


Рис. 7. Схема елементного складу призми переміщення

За прийнятих конструктивних параметрів відвала a і b кут повороту бокових секцій обмежується шириною захвата B , яка повинна перекривати габарит гусеничної або колісної системи базового трактора. На практиці кут повороту бокових секцій приймають у межах $25...35^\circ$, що зумовлює відповідну довжину середньої a та бокових секцій b . У цьому випадку мінімальний захват визначається за формулою:

$$B = a + 2b \cdot \cos \alpha \geq B + \Delta, \quad (26)$$

де: B - габарит ходової системи трактора, м;

Δ - виступ крайніх елементів відвала за габаритами ходової системи, $\Delta = (0,25...0,5)$ м.

За заданих габаритів ходової системи трактора співвідношення довжин середньої та бокових секцій визначають і кут повороту останніх. Очевидно, його значення сягає

мінімуму за $a=0$, тоді має місце при двосекційних відвалах.

Тоді:

$$B = 2b \cdot \cos \alpha \geq B + \Delta . \quad (27)$$

У випадку, коли $a \geq B + \Delta$, бокові секції можуть бути повернуті на кут $\alpha = 90^\circ$ і ми отримаємо неповоротний відвал із боковими щитками, або відкрілками, загальна довжина якого визначається за формулою:

$$B = a + \Delta l \geq B + \Delta , \quad (28)$$

де: b - довжина бокових щитків.

У цьому випадку:

$$B = \frac{B - a}{2 \cos \alpha} . \quad (29)$$

Критерій конструктивної якості секційних відвалів, очевидно, становить їх властивість накопичувати максимальну кількість уламків за мінімальних втрат їх у бокові валки.

Прийнявши зовнішню форму призми переміщення, як показано на рисунках 6, 7, її об'єм можна визначити як суму об'ємів елементарних фігур V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 .

Тобто:

$$V = V_1 + 2V_2 + V_3 + 2V_4, \quad (30)$$

де: V_1 – об'єм паралелепіпеда, що утворений середньою секцією відвала, m^3 ;

V_2 – об'єм тригранної призми, що утворена боковою секцією відвала, m^3 ;

V_3 – об'єм тригранної призми, що утворюється перед елементарними об'ємами V_1 і V_2 ;

V_4 – об'єм бокової урізаної піраміди, утвореної в результаті зсуву уламків з активної зони відвала в бокові валки.

Об'єм паралелепіпеда V_1 визначається формулою з урахуванням залежності (29):

$$V_1 = \frac{[a + (a + 2Htg\beta)]}{4} \times \frac{(H - h) \cdot (B \cdot a) \sin \alpha}{1}, \quad (31)$$

де: a – довжина середньої секції, м;

b – довжина бокової секції, м;

H – загальна висота відвала, м;

h – товщина стружки, що вирізається, м;

α – кут повороту бокових секцій, град;

β – кут нахилу з'єднання бокової секції

відносно центральної, град;

Об'єм тригранної призми V_2 , утвореної боковою секцією відвала, визначається формулою:

$$2V_2 = \frac{2l \cdot \cos^2 \alpha \cdot H(\sin \alpha + \cos \alpha) - H^2}{2 \cdot \cos \alpha} \times \frac{(l \cdot \sin 2\alpha - H \cdot tg\beta)tg\beta}{1}, \quad (32)$$

де l – довжина верхньої частини бокової секції на рисунку 6.

Об'єм тригранної призми, що утворюється перед елементарними об'ємами V_1 і V_2 , дорівнює:

$$V_3 = \frac{(H - h)^2 B^1}{2tg\varphi_0}, \quad (33)$$

де B^1 – довжина поздовжніх ребер даної призми з урахуванням зсуву уламків з активної зони відвала в бокові валки.

Довжина ребер B^1 визначається із розрахункової схеми на рисунку 5.

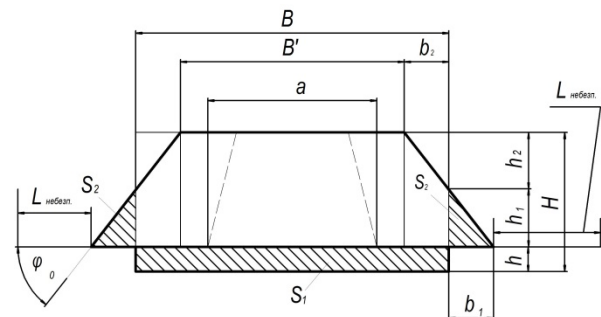


Рис. 8. Схема до визначення довжини B^1 (вид спереду)

Відповідно до схеми, довжина B^1 дорівнює:

$$B^1 = B - 2b_2, \quad (34)$$

де b_2 – довжина бокової частини відвала.

Геометричні параметри бокової системи призми переміщення (рис. 7) визначаються з умови кінця копання:

$$K_P \cdot S_C = 2S_\sigma, \quad (35)$$

де K_p – коефіцієнт розпушення середовища;

S_C – площа уламків, що переміщуються;

S_b – площа поперечного перетину бокового валка.

З урахуванням геометричних параметрів відвала можна записати:

$$B \cdot h \cdot K_p = \frac{h_1^2}{\operatorname{tg} \varphi_0}; \quad (36)$$

звідки:

$$h_1 = \sqrt{Bh \cdot K_p \operatorname{tg} \varphi_0}, \quad (37)$$

де h_1 – висота вершини бокового валка.

Довжина основи бокового валка b_1 дорівнює:

$$b_1 = \frac{h_1}{\operatorname{tg} \varphi_0} = \frac{\sqrt{Bh \cdot K_p \operatorname{tg} \varphi_0}}{\operatorname{tg} \varphi_0}. \quad (38)$$

Параметри прямокутника у верхній частині відвала h_2 і b_2 визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} h_2 &= (H - h) - h_1 = \\ &= (H - h) - \sqrt{Bh \cdot K_p \operatorname{tg} \varphi_0}; \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} b_2 &= \frac{h_2}{\operatorname{tg} \varphi_0} = \\ &= \frac{(H - h) - \sqrt{Bh \cdot K_p \operatorname{tg} \varphi_0}}{\operatorname{tg} \varphi_0}; \end{aligned} \quad (40)$$

$$b_2 = (H - h) - \sqrt{Bh \cdot K_p' \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot \operatorname{tg} \varphi_0. \quad (41)$$

З урахуванням (34) і (40) можна записати:

$$V_3 = \frac{(H - h)^2}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} \times$$

$$\times \left[B - 2 \left(\frac{(H - h) - \sqrt{Bh \cdot K_p' \operatorname{tg} \varphi_0}}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \right]. \quad (42)$$

Бокова частина призми переміщення V_4 являє собою урізану призму АСДКФЕ (рис. 3), що являє собою частину повної тригранної призми АСДМ, об'єм якої виражається формулою:

$$\begin{aligned} V_4 &= V_{ABC} - V_{DEN} = \\ &= \frac{(H - h)^2}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot \frac{1}{3} (b_2 + b_1) - \frac{h_1^2}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot b_1. \end{aligned} \quad (43)$$

Тоді з урахуванням розгорнутих значень b_1 , b_2 і h_1

$$\begin{aligned} 2V_4 &= \frac{\sqrt{B \cdot h \cdot \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot K_p}{3 \operatorname{tg} \varphi_0} \times \\ &\times \left(\frac{(H - h)^3}{\sqrt{B \cdot h \cdot K_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot \operatorname{tg} \varphi_0} - B \cdot h \cdot K_p \right). \end{aligned} \quad (44)$$

Підставивши у формулу (4) розгорнуті значення складових (31), (32), (41) і (43), отримаємо формулу максимального об'єму уламків, що накопичуються перед секційним відвалом у кінці процесу переміщення.

$$\begin{aligned} V &= \frac{a \cdot (B - a)(H - h) \operatorname{tg} \alpha}{4} + \\ &+ \frac{(B - a)^2 (H - h) \operatorname{tg} \alpha}{4} + \\ &+ \frac{(H - h)^2}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} \times \end{aligned}$$

$$\times \left[B - 2 \left(\frac{(H - h) - \sqrt{Bh \cdot K_p' \operatorname{tg} \varphi_0}}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \right] +$$

$$+ \frac{\sqrt{B \cdot h \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \cdot K_p}}{3 \operatorname{tg} \varphi_0} \times \left(\frac{(H-h)^3}{\sqrt{B \cdot h \cdot K_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_0}} - B \cdot h \cdot K_p \right). \quad (45)$$

Висновки. Прийнята розрахункова схема та математичні залежності для визначення об'ємів елементарних складових частин дозволили запропонувати дієздатну математичну модель для прогнозу величини призми переміщення під час

транспортування уламків як традиційними, так і секційними відвалами та визначити зони небезпеки. Таким чином, запропонована теоретична залежність досить об'єктивно відображає закономірність зміни форми і об'єму уламків, що накопичуються перед секційним відвалом, і може використовуватись для інженерного прогнозу цього показника, щоб визначити небезпечну зону та забезпечити безпеку під час розбирання завалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий : учеб. пособ. в 3 кн. Кн. 1 / под ред. К. Е. Кочеткова, В. А. Котляревского, А. В. Забегаева. – Москва : АСВ, 1995. – 320 с.
2. Улитина М. Ю. Повышение безопасности ведения работ при ликвидации последствий, связанных с обрушением зданий : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 : защищена 27.05.2017 / Улитина Марина Юрьевна ; науч. рук. Шатов С. В. – Днепро, 2017. – 195 с.
3. Научные основы эффективного предупреждения и борьбы с чрезвычайными ситуациями и стихийными бедствиями : метод. рук. / М. В. Болотских, М. В. Орешкин, П. В. Шелихов, Е. П. Луганцев ; Глав. упр. М-ва чрезвычайн. ситуаций Украины в Луган. обл., Луган. нац. аграр. ун-т, Фонд историсоф. исслед. – Луганск : ЛНАУ, 2004. – 35 с.
4. Боровский Б. Техногенные аварии в системах газоснабжения и их предупреждение / Б. Боровский, Е. Лапина // Motrol. – 2009. – № 11А. – С. 120–122.
5. Гончаренко Д. Ф. Технология демонтажных и строительно-монтажных работ при восстановлении частично разрушенного здания / Д. Ф. Гончаренко, Н. А. Меленцов, А. С. Константинов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2013. – № 1. – С. 42–44.
6. Моделирование пожаров и взрывов : монография / под общ. ред. Н. Н. Брушлинского, А. Я. Корольченко ; [И. Ф. Астахова, В. П. Беляцкий, Н. Н. Брушлинский, Л. П. Вогман]. – Москва : Пожнаука, 2000. – 482 с.
7. Совершенствование организации и управления пожарной охраной : совместное узд. СССР-НРБ / [Н. Н. Брушлинский, А. К. Микеев, Г. С. Бозуков и др.] ; под ред. Н. Н. Брушлинского. – Москва : Стройиздат, 1986. – 152 с.
8. Баловнев В. И. Повышение производительности машин для земляных работ : учеб. / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – Киев : Будівельник, 1988. – 152 с. : ил. – (Производительность труда – самое важное, самое главное).
9. Зеленин А. Н. Машины для земляных работ. Основы теории разрушения грунтов, моделирование процессов, прогнозирование параметров : учеб. пособие для вузов / А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов ; ред. А. Н. Зеленин. – Москва : Машиностроение, 1975. – 424 с.
10. Модернизация бульдозера ДЗ-110А / И. А. Недорезов, Т. И. Аскарходжаев, М. А. Мирсадыков, В. В. Котов // Строительные и дорожные машины. – 1994. – № 2. – С. 4–5.

REFERENCES

1. Kotlyarevsky V.A., Kochetkov K.E. and Zabegaev A.V., eds. *Avarii i katastrofy. Preduprezhdenie i likvidatsiya posledstviy* [Accidents and disasters. Prevention and elimination of consequences]. Moskva: ASV, 1995, vol 1, 320 p. (in Russian).
2. Ulitina M.Yu. *Pidvyschennia bezpeky provedennia robot pry likvidatsii naslidkiv poviazanykh z obrushenniam budivel:dys, kand.tech. nauk 05.26.01: zakhushchena 27.05.2017* [Enhancement of the safety of conducting works in the elimination of the consequences concerning with the crumbling of buildings: Cand Sc. (Tech.) Dissertation: 05.26.01 protected on 27.05.2017]. Dnipro, 2017, 195 p. (in Ukrainian).
3. Bolotskih M.V., Oreshkin M.V., Shelihov P.V. and Lugantsev E.P. *Nauchnyie osnovyi effektivnogo preduprezhdeniya i borbyi s chrezvyichaynymi situatsiyami i stihyinyimi bedstviyami* [Scientific fundamentals of effective prevention and control of emergencies and natural disasters] Glav. upr. M-va chrezvyichayn. situatsiy Ukrainyi v Lugan. obl., Lugan. nats. agrar. un-t, Fond istoriosof. Issled [The main directorate of Ministry of

- Emergency Situation of Lugansky region, Lugansk agricultural national institute. Fund of hist. research]. Lugansk: LNAU, 2004, 35 p. (in Russian).
4. Borovsky B. and Lapina E. *Tehnogennyye avarii v sistemakh gazosnabzheniya i ikh preduprezhdenie* [Technological accidents in gas supply systems and their prevention]. Motrol, 2009, no. 11A, pp. 120–122. (in Russian).
 5. Goncharenko D.F., Melentsov N.A. and Konstantinov A.S. *Tehnologiya demontazhnykh i stroitelno-montazhnykh rabot pri vosstanovlenii chastichno razrushennogo zdaniya* [The technology of dismantling and construction and assembly work in restoring of a partially destroyed building]. *Promislove budivnitstvo ta inzhenerni sporudi* [Industrial construction and engineering structures]. 2013, no. 1. pp. 42–44. (in Russian).
 6. Brushlinsky N.N., Korolchenko A.Ya., Astahova, I.F., Belyatsky V.P. and Vogman L.P., eds. *Modelirovaniya pozharov i vzryvov* [Design of fires explosions]. Moskva: “Pozhnauka”, 2000, 482 p. (in Russian).
 7. Brushlinsky N.N., Mikeev A.K. and Bozukov G.S. *Sovershenstvovanie organizatsii i upravleniya pozharnoy okhrany: sovместное izd. SSSR-NRB* [Improvement of organization and control of fire prevention: joint issue USSR-PRB]. Moskva: “Stroyizdat”, 1986, 152 p. (in Russian).
 8. Balovnev V.I. and Khmara L.A. *Povyshenie proizvoditelnosti mashin dlya zemlyanykh rabot* [Increasing of productivity of machines for excavation work]. Kiev: Budivelnik, 1988, 152 p. (in Ukrainian).
 9. Zelenin A.N., Balovnev V.I. and Kerov I.P. *Mashiny dlya zemlyanykh rabot* *Osnovy teorii razrusheniya gruntov, modelirovaniye protsessov, prognozirovaniye parametrov* [Machinery for excavation works. Fundamentals of the theory of soil destruction, process modeling, parameter prediction]. Moskva: Mashinostroenie, 1975, 424 p. (in Russian).
 10. Nedorezov I.A., Askarhodzhaev T.I., Mirsadykov M.A. and Kotov V.V. *Modernizatsiya buldozera DZ - 110A*. [Modernization of the bulldozer DZ - 110A.] *Stroitelnye i dorozhnye mashiny* [Building and road machines]. 1994, no. 2, pp. 4–5. (in Russian).

Рецензент: Гончаренко Д. Ф., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 27.10.2018 р.