

ВСТУП

Сьогодні в Україні відкритий спосіб розробки родовищ корисних копалин є генеральним напрямом розвитку галузі з видобутку та переробки корисних копалин.

Застосування потужних високопродуктивних екскаваторів і постійне ускладнення їх конструкції вимагають забезпечення відповідності основних конструктивних параметрів машин умовам експлуатації

Продуктивність екскаваторів значною мірою залежить від надійності роботи приводів виконавчих механізмів, що піддаються процесі експлуатації впливу знакозмінних навантажень підчас робочого циклу. В результаті цього прискорюється зношування деталей приводу, у ряді випадків виникають втомні руйнування.

В даний час на кар'єрах, розрізах та на відвалах використовують ще досить великий парк екскаватори типу ЕКГ з канатним напором, не зважаючи на те, що їх поступово витісняють гідравлічні екскаватори закордонних виробників.

Удосконалення конструкції кар'єрних екскаваторів пов'язано зі збільшенням місткості ківшу та підвищенням експлуатаційної надійності.

Слід зазначити, що тенденція збільшення місткості ківшу простежується як у канатних мехлопат, так і гідравлічних екскаваторів, але збільшення місткості ківшу гідроекскаваторов обмежене високою собівартістю екскавації та меншим строком служби.

Для більш ефективної роботи екскаватора потрібно підбирати ківш з оптимальною місткістю для кожного виду робіт. Об'єм породи у ківші екскаватора залежить від об'ємної маси породи і коефіцієнта наповнення ківшу.

Отже дослідження процесу завантаження ківшу породою при зачерпуванні екскаваторів типу пряма лопата та визначення раціональних параметрів процесу зачерпування задля покращення режиму роботи екскаваторів типу пряма лопата є **актуальним науково-технічним завданням.**

Метою роботи є покращення режиму роботи екскаваторів типу пряма лопата за рахунок обґрунтування раціональних параметрів процесу зачерпування ківшем гірської маси.

Об'єкт досліджень – процес завантаження ківшу породою при зачерпуванні екскаваторів типу пряма лопата.

Предмет дослідження – параметри процесу завантаження ківшу породою екскаваторів типу пряма лопата.

1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗАЧЕРПУВАННЯ ГІРСЬКОЇ МАСИ КІВШЕМ ТИПУ ПРЯМА ЛОПАТА

1.1. Аналіз параметрів зачерпування гірської маси ківшем типу пряма лопата

Виймково-навантажувальні роботи при розробці напівскельних і скельних порід здійснюються після їх попередньої підготовки за допомогою вибуху. Буропідривні роботи повинні при цьому забезпечувати високу якість дроблення породи, вимоги до яких визначаються параметрами використовуваного на кар'єрі виймкового та транспортного обладнання, насамперед місткістю ковша екскаватора та кузова транспортного засобу [11, 16].

При добрій якості дроблення і достатньому коефіцієнті розпушування породи в розвалі ($K_p \geq 1,3 \div 1,4$) процес черпання відбувається без ускладнень. Екскаватор зачерпує породу, починаючи з нижньої частини розвалу, що викликає періодичне її осипання із середньої та верхньої частин вибою. Кут відкосу породи у вибої становить при цьому від 35 до 40 °, що близько до куту природного укосу і виключає можливість випадкового обвалення породи. Ківш екскаватора заповнюється породою досить легко і швидко і також легко відбувається його розвантаження. Незадовільна якість вибухових робіт, при яких порода в розвалі характеризується великою кусковатістю і низьким коефіцієнтом розпушення та значною її зв'язністю, вкрай ускладнює як процес черпання, так і розвантажування ковша. Збільшується тривалість циклу, різко знижується продуктивність екскаватора, підвищується ймовірність аварій (поломки зубів ковшів, обрив тросів тощо). Кут відкоса породи у вибої екскаватора зростає до 65-70 ° і більше, що загрожує утворенням у верхній частині вибою козирків і нависань, що загрожують раптовим обваленням [11, 16].

Параметри розвалу підірваної породи (його висота, ширина і коефіцієнт розпушення породи в розвалі) повинні відповідати робочим параметрам екскаватора та його потужності. При правильно вибраних параметрах буропідривних робіт висота розвалу практично завжди виявляється менше висоти вибухового уступу. Поряд з тим чи іншим заходом сипкості взаємодії підірваної

рваної породи в вибої екскаватора це дозволяє приймати висоту вибухового уступу до 1,5 максимальної висоти черпаня екскаватора [11, 16].

Збільшення висоти уступів за тієї ж глибини кар'єру дозволяє скоротити їх кількість та загальну протяжність транспортних комунікацій у кар'єрі, а значить і скоротити витрати на їх будівництво та підтримку. При виїмці підірваних порід вибоєм, як правило, є торцева частина розвалу. Допустима за умовами безпеки висота вибою (висота розвалу - H_p) залежить від висоти черпання екскаватора і від якості вибухового дроблення породи. У добре підірваних, дрібношматковатих, сипких породах висота вибою може становити до $(1,5 \div 2,0)$ максимальної висоти черпаня екскаватора і більше. При незадовільній якості дроблення, у крупшматкової зв'язної породи при низькому коефіцієнті розпушування висота вибою не може перевищувати максимальної висоти черпаня екскаватора [11, 16].

Ширина заходки та схема виїмки породи з розвалу залежать насамперед від його ширини. При розробці сильнотріщінових легковибухуваних порід, коли підривання проводиться з невеликою питомою витратою ВР, а ширина вибуху блоку обмежено, ширина розвалу виходить також невеликий [11, 16].

Такий розвал можна відвантажити однією поздовжньою заходкою за будь-якого виду транспорту. Але при розробці порід середньої вибуховості, а тим більше великоблочних порід, коли вибухові роботи ведуться з великим питомою витратою ВР (до $1,0 \text{ кг/м}^3$ і більше) ширина розвалу значно зростає і може досягати 50-60 м. При відвантаженні породи з такого розвалу доводиться використовувати більше складні схеми виїмки зазвичай двома-трьома заходками [11, 16].

При руйнуванні гірських порід вибухом на кар'єрі утворюються сукупності шматків різноманітних форм і розмірів. Сьогодні до якості дроблення гірських порід вибухом висуваються підвищені вимоги, які полягають в отриманні кусковатості, що відповідає умовам ефективного використання видобувного обладнання. Якість вибухового дроблення оцінюється різними показниками, які характеризують одиничний шматок, окремі фракції та сукупність шматків загалом [11, 16].

Як відомо гранулометричний склад гірської маси, розпушеної взривом,

напряму впливає як на процес зачерпування цієї маси ківшем екскаватора, так і на продуктивність роботи цього екскаватору взагалі. До того ж розмір шматків нерозривно пов'язаний з тим, яке навантаження сприймає ківш і усе робоче обладнання екскаватору під час його робочого циклу [11, 16].

Регулювання положення екскаватора ковша відбувається під час його монтажу. При цьому необхідно стежити за правильною установкою кута нахилу передньої стінки ковша до осі рукояті β (рис 1.1), що значною мірою впливає на продуктивність екскаватора [15].

Цей нахил повинен забезпечувати найкращий кут різання ґрунту, тобто кут між дотичної до траєкторії ковша і площиною, що утворюється передніми гранями зубів. Задній кут повинен бути в межах $\beta = 5-10^\circ$. При меншому куті значно збільшиться тертя між задніми площинами зубів і ґрунтом, а при більшому збільшиться кут різання [15].

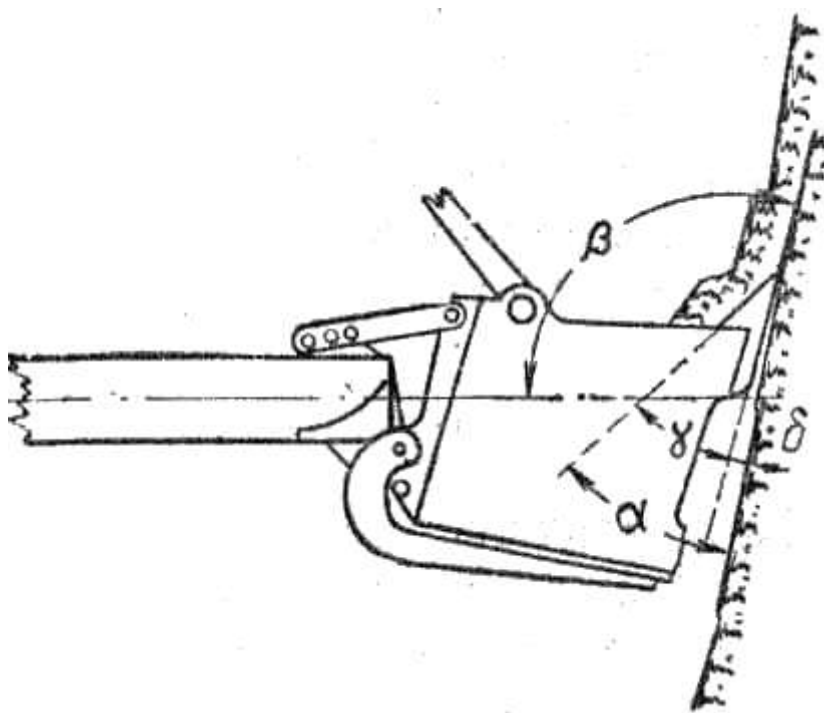


Рис 1.1 – Встановлення ківшу екскаватору пряма лопата [15]

При роботі в твердих ґрунтах, коли ківш важко вривається, потрібно збільшити нахил ковша, при роботі в м'яких ґрунтах — зменшити його. При малій висоті вибою також необхідно збільшувати кут нахилу ковша, щоб забезпечити його більше вривання та заповнення на невеликій ділянці черпання. Регулювання

нахилу ковша здійснюється перестановкою пальців в отворах тяги або рукояті [15].

1.2 Аналіз умов експлуатації

Розглянемо характеристики гірських порід з точки зору процесу зачерпування гірської маси ківшем екскаватору.

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти гірничих порід [11, 12]

	Категорія породи			
	I	II	III	IV
Щільність породи у ціліку, γ , т/м ³	1,5..1,8	1,8..2,5	2,5..3,0	3,0...3,5
Коефіцієнт розрихлення, K_p	1,1..1,15	1,25	1,37	1,3..1,37
Коефіцієнт екскавації, K_E	0,91	0,84	0,7	0,6

Таблиця 1.2 – Коефіцієнт наповнення ківшу [11]

Порода	Коефіцієнт наповнення ківшу, $K_{нк}$
Пісок і гравій сухі, щебінь	0,95...1,02
Пісок і гравій вогкі	1,15..1,23
Суглинок	1,05..1,12
Суглинок вогкий	1,2..1,32
Глина середня	1,08..1,18
Глина середня вогка	1,3..1,5
Глина важка	1,0..1,1
Глина важка вогка	1,25..1,4
Добре підірвані скельні породи	0,95..1,02
Погано підірвані скельні породи	0,75..0,9

Таблиця 1.3 – Коефіцієнт наповнення ківшу [11]

Порода	Коефіцієнт наповнення ківшу, $K_{н.к}$
Пісок, супесь, легка глина	1,0..1,1
Щільні глини, слабкі глинисті сланці, крейда, буре і кам'яне вугілля	0,95..1,1
Важкі глини, щільні глинисті сланці, мергель, слабкі пісчаники на глинистому цементі	0,85...1,1
Неміцні сланці і пісчаники на вапняному цементі, слабкі вапняки, щільний мергель	0,8..1,0
Граніти, міцні: пісчаники (на залізистому і кварцовому цементі), мурмури, вапняки і доломіти	0,75..0,9

Таблиця 1.4 – Коефіцієнт розрихлення гірничих порід [11]

Порода	Початковий	У вагоні	Залишковий
Пісок, супесі	1,05..1,2	1,1..1,2	1,05
Рослинний ґрунт, торф	1,2..1,3	1,2..1,25	1,03..1,1
Лесовидні суглинки, рихлий вогкий лес, гравій до 15 мм	1,15..1,3	1,2..1,25	1,02..1,1
Жирна глина, важкий суглинок, крупний гравій, лес природної вогкості, ломова глина, суглинок з щебнем	1,25..1,35	1,3	1,07..1,15
Отверділий лес, м'який мергель, опоки, трепел	1,3..1,4	1,35	1,1..1,2
Міцний мергель, тріщинувата скеляста порода	1,3..1,5	1,4	1,1..1,25
Скеля різної твердості при кількості шматків розміром до 0,4..0,7 м до 25%	1,25..1,5	1,3..1,4	1,15..1,35
Скеля різної твердості при кількості шматків розміром до 0,4..0,7 м до 25%	1,45..1,55	1,4	1,2..1,4
Скеля різної твердості при кількості шматків розміром до 1,7 м до 40%	1,6..1,8	1,6..1,8	1,4..1,6

Таблиця 1.5 – Фізико-механічні характеристики порід [11, 12]

Категорія породи	У масиві			Після рихлення		Коефіцієнт опору копанню, K_F , МПа	Питомий опір копання, $k_{кл}$, Па·10 ⁵
	Група породи	Міцність породи у масиві, C_m , МПа	Щільність породи у цілику, γ_p , т/м ³	Порода	Коефіцієнт розрихлення, k_F		
I	М'які та рихлі породи		1,5..1,8	Вугілля, напівскельні породи	1,1..1,15	0,016..0,12	0,16..0,25 0,29..0,69
II	Досить щільні породи, мерзлий ґрунт I категорії	0,02..0,04	1,8..2,5	Напівскельні і скельні породи	1,25	0,07..0,16	0,59..1,28
III	Слабке вугілля, щільна порода, мерзлий ґрунт I-II категорій	0,04..0,07	2,5..3,0	Скельні породи і важка руда	1,3	0,12..0,25	1,08..1,86
IV	Вугілля середньої міцності, дуже щільна порода, мерзлий ґрунт II-III категорій	0,07..0,1	3,0..3,5	Міцне вугілля, напівскельні і скельні породи, важкі руди	1,3..1,37	0,22..0,36	1,96..2,26 2,26..3,04
V	Міцне вугілля, найменш міцні напівскельні породи, мерзлий ґрунт III-IV категорій, сильно тріщинуваті скельні породи і руди	0,1..0,15		Дуже міцне вугілля, напівскельні породи VI-VIII категорій, важка руда VI-VIII категорій		0,33..0,55	2,75..3,14 2,16..2,45
VI	Дуже міцне вугілля, міцні напівскельні породи IV-V категорій, скельні породи і важкі руди тріщинуваті	0,15..0,23		Напівскельні породи VII категорій, скельні породи VIII-IX категорій, важка руда VIII категорії		0,43-0,75	4,12..4,61
VII	Сланці, мергель, гіпс, крейда, скельні породи і руда середньотріщинуваті	0,23..0,35		Скельні породи і важка руда VIII категорії		0,8..1	
VIII	Скельні мало тріщинуваті мерзлі породи, важка руда			Скельні важкі породи і			
VIII	Скельні мало тріщинуваті мерзлі породи, важка руда	0,35..0,55		Скельні важкі породи і руда практично монолітні, породи IX категорій		1..1,2	
IX	Поза категорійні породи	0,55		-		-	

1.3. Аналіз гранулометричного складу розпушеної вибухом гірської маси

Одним з визначальних параметрів для процесу зачерпування гірської маси ківшом екскаватору є гранулометричний склад гірської маси.

Проаналізуємо відомості щодо гранулометричного складу гірської маси, що утворюється у кар'єрах після підриву уступу, тобто такої породи, що вантажиться екскаватором.

Авторами статті [10] наведено опис вдосконаленого аналітичного метода для визначення грануло-метричного складу підірваної гірничої маси після підриву уступу на кар'єрі свердловинними зарядами. У статті зазначається, що найбільший вплив на характер дроблення гірських порід під час підриву мають два фактори, а саме хвиля, відбита від вільних поверхонь масиву порід, і спучуючий вплив вибуху заряду ВР. Автори презентували аналітичний метод визначення гранулометричного складу підірваних порід, що враховує спільний вплив перелічених факторів.

Згідно з розробленим методом, робиться висновок, що підірвана гірська маса умовно поділяється на 7 класів [10]:

- I клас - розмір шматків до 0,2 м,
- II клас - 0,21- 0,40 м,
- III - 0,41-0,60 м,
- IV клас - 0,61 -0,80 м,
- V клас –0,81 -1,00 м,
- VI клас –1,01 - 1,20 м,
- VII клас –більше 1,21 м

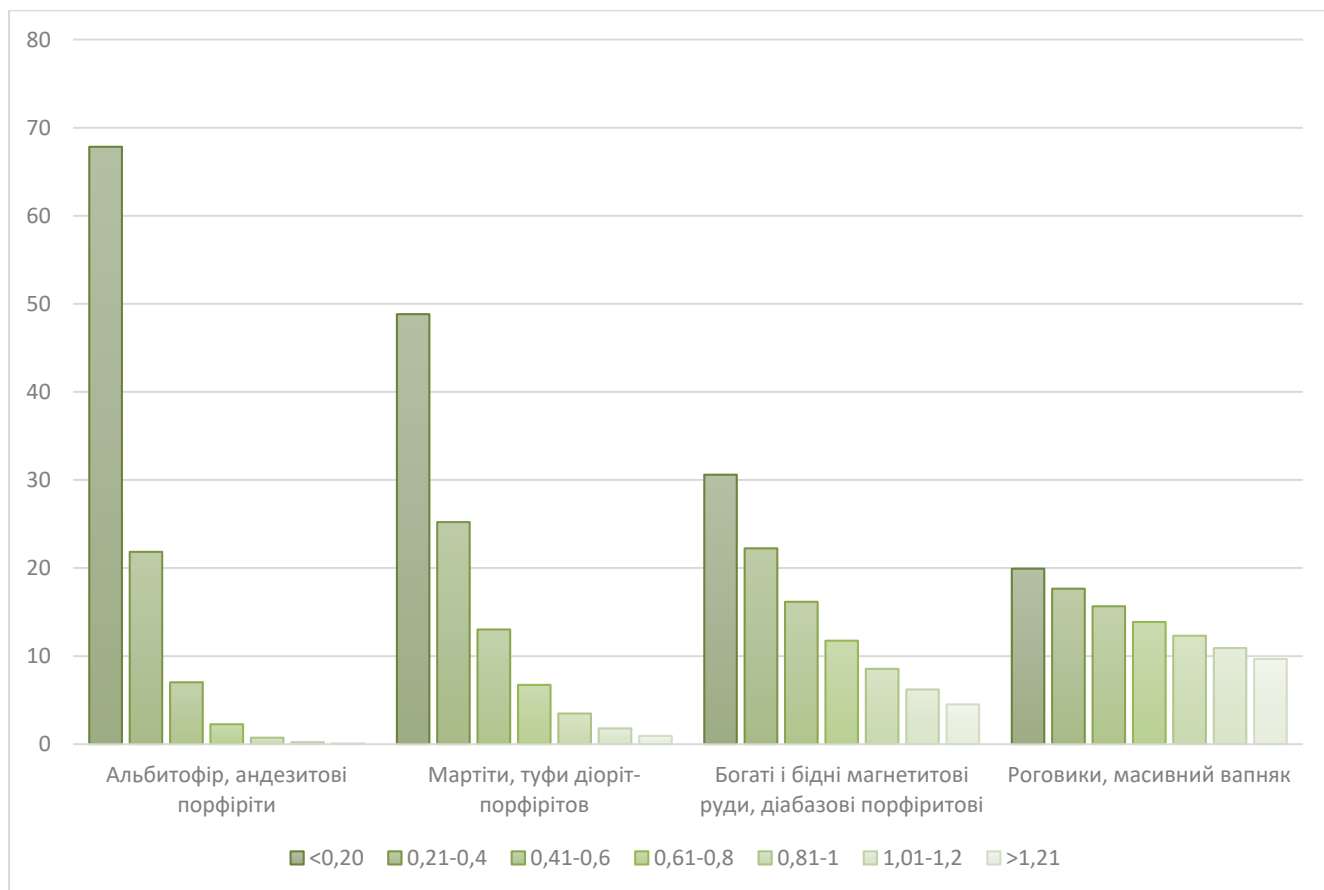


Рис 1.2 – Вміст у масиві (%)зруйнованих гірських порід Сарбайського кар'єру природніх окремих фракцій [10]

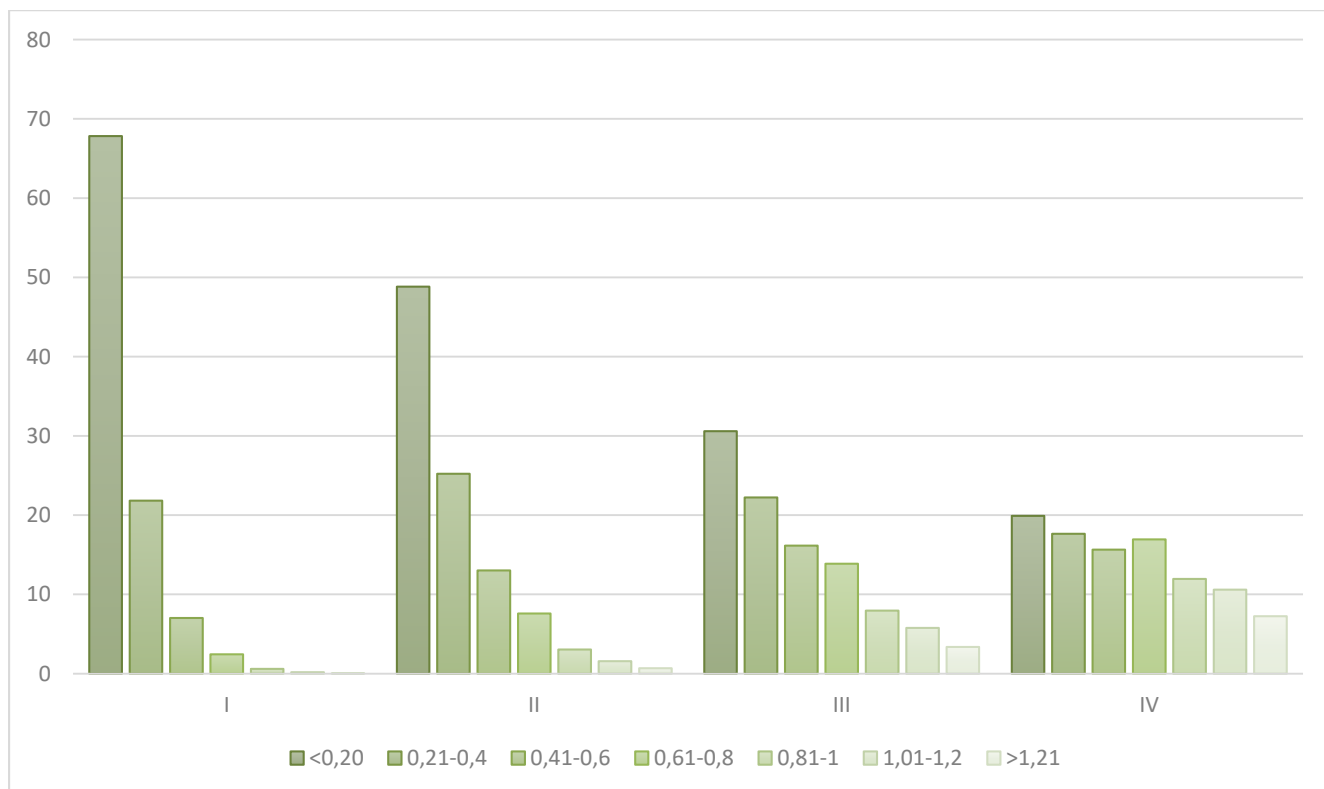


Рис 1.3 - Умовний вміст у масиві зруйнованих гірських порід Куржункульського кар'єру фракцій певного розміру за блочністю [10]

Для порівняння розглянемо гранулометричний склад негабаритної руди, що витікає з дучок при підземній розробці корисних копалин (рис 1.4) [14]. З рисунка видно, що вміст шматків крупних фракцій є суттєвим. Також можна зробити висновок, що результат аналізу гранулометричного складу негабаритів показує, що 75% шматків мають довжину 1..2 м, 23% - 2..4 м, довжина інших перевищує 4 м, що є неприпустимим на відкритих гірничих роботах [14].



Рис 1.4 – Гранулометричний склад руди у дучках: 1 – ділянка 1; 2 - ділянка 2 [14]

Праця [13] присвячена розробці методики та проведенню досліджень розподілу гранулометричного складу, результатом чого стала розроблена автором інтегральна крива розподілу породи за крупністю (рис 1.5).

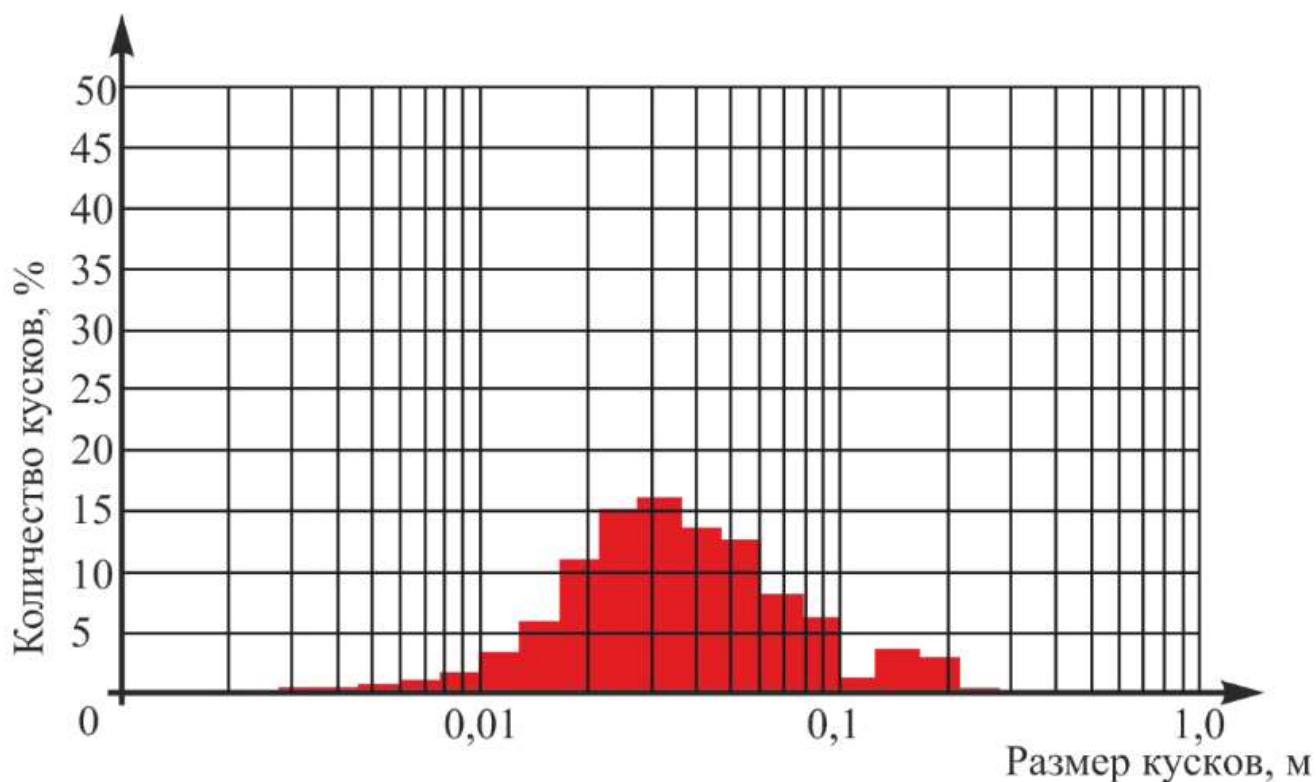


Рис. 1.5 - Гістограма розподілу гранулометричного складу підірваної гірської

маси [13]

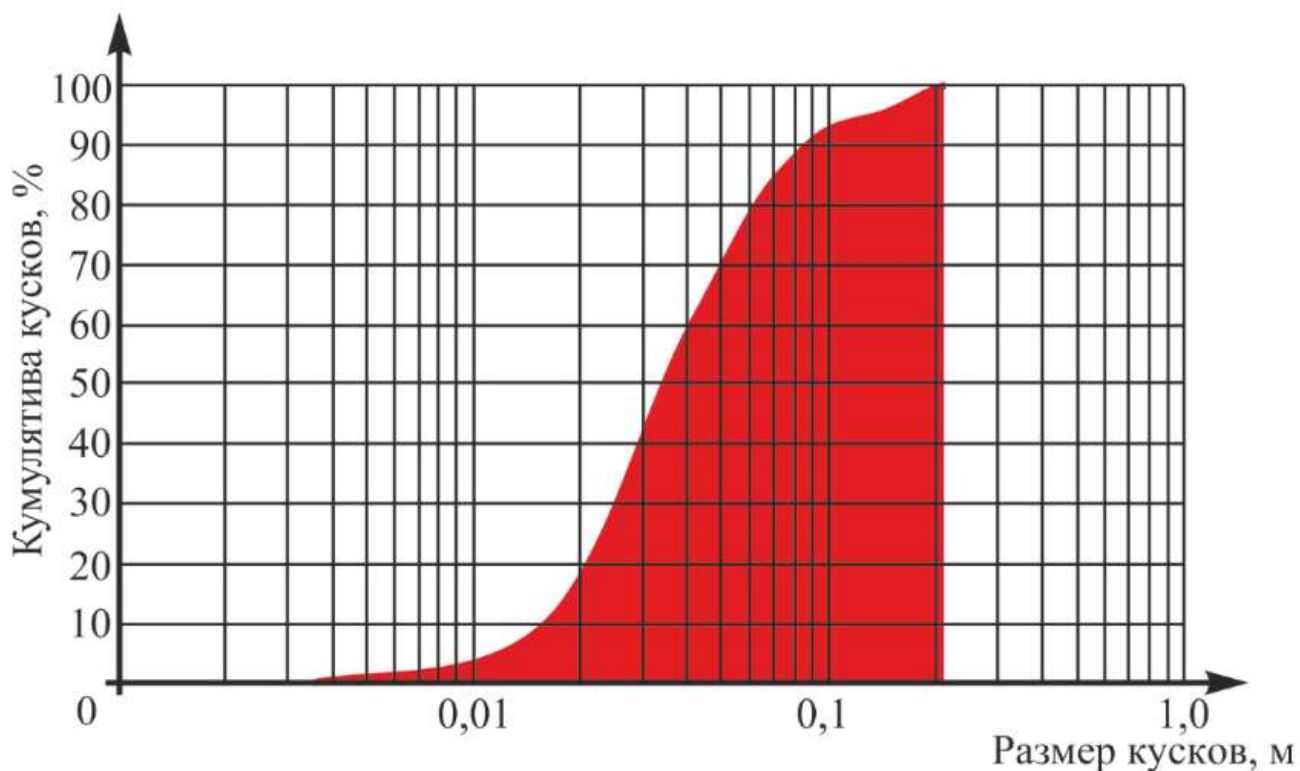


Рис. 1.6 - Інтегральна крива розподілу фракцій у підірваній гірській маси [13]

Наукова робота [9] містить відомості про кумулятивні криві гранулометричного складу породного масиву при системній тріщинуватості та виокремлено кумулятивні криві гранулометричного складу підірваної породи при використанні свердловинних зарядів.

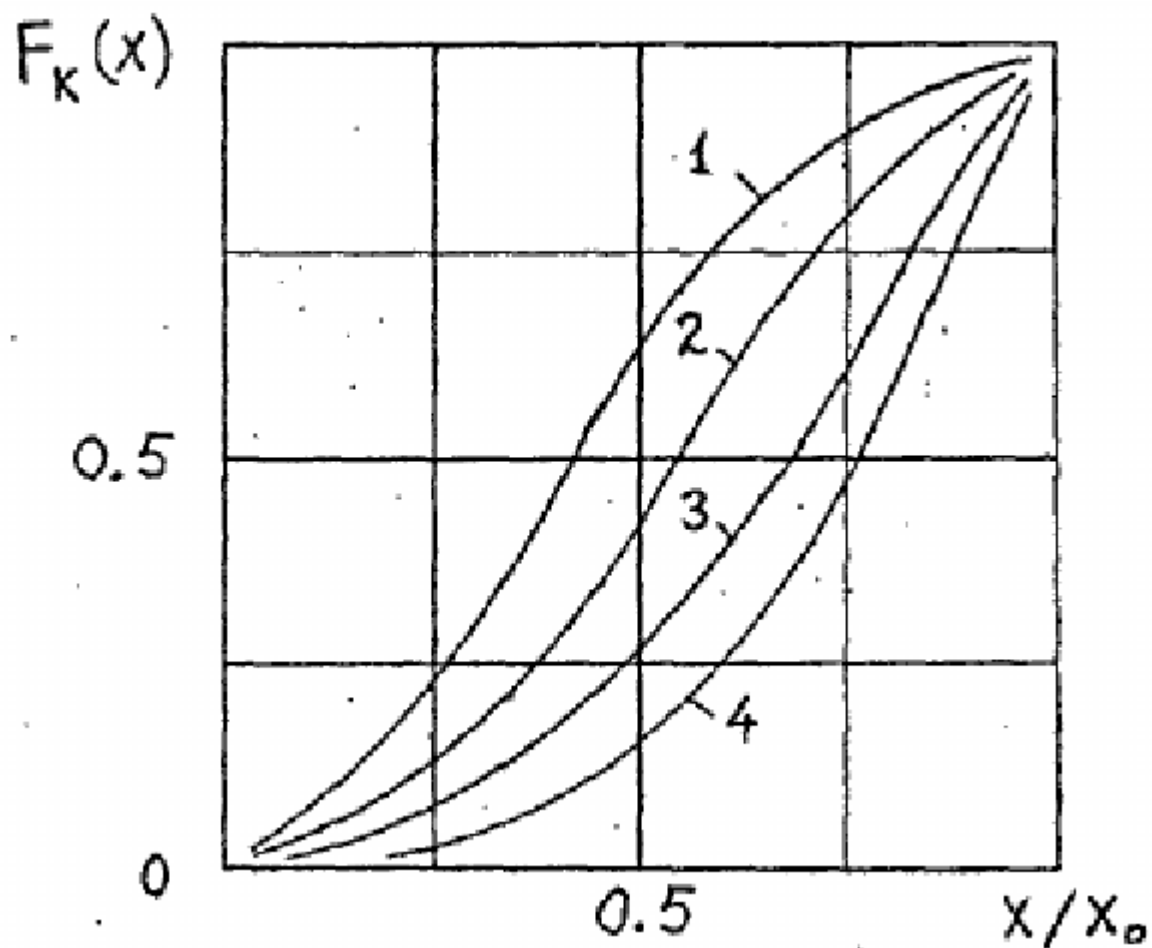


Рис 1.7 – Кумулятивні криві гранулометричного складу породного масиву: 1 – за кількістю блоків; 2 – за їх сумарній довжині; 3 – за їх площі; 4 – за об'ємом [9]

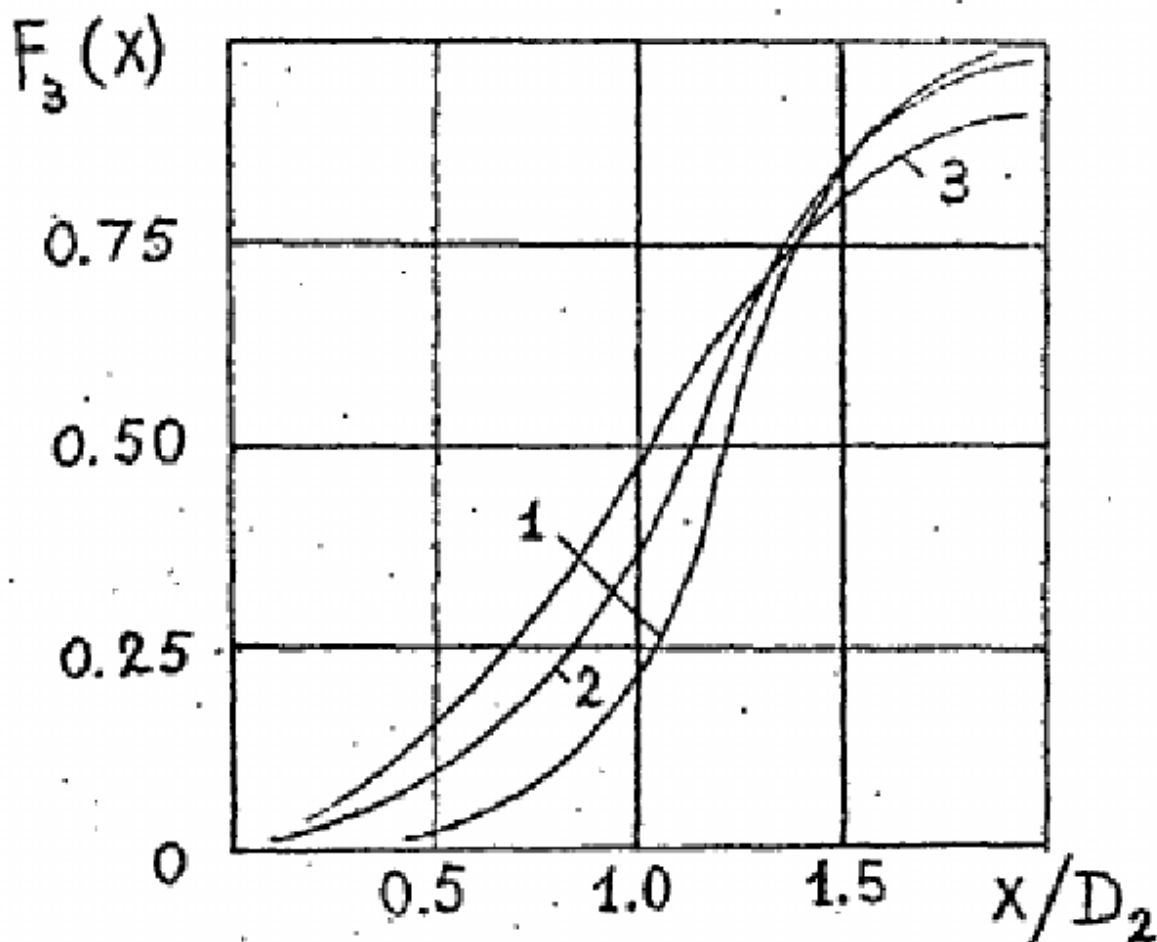


Рис 1.8 – Кумулятивні криві гранулометричного складу підірваної породи при використанні свердловинних зарядів діаметром: 1 - 120-150 мм; 2 – 216-244 мм; 3 – 270-320 мм [9]

Автором [17] виконано аналіз гранулометричного складу підірваних гірських порід на Першотравневому і Ганнівському кар'єрах ПАТ «Північний ГЗК» (рис.1.9.).

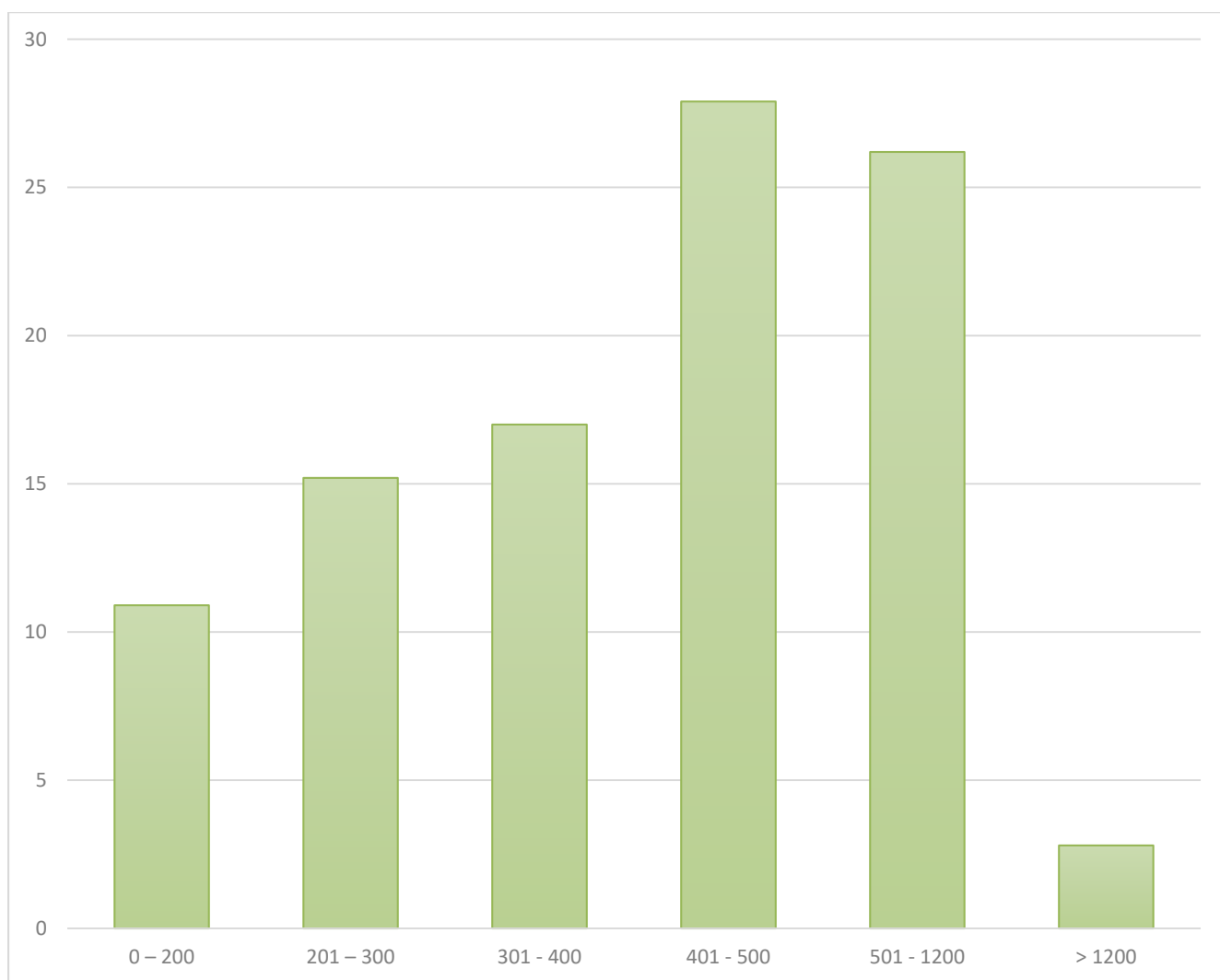


Рис 1.9 – Відсотковий вихід фракцій [17]

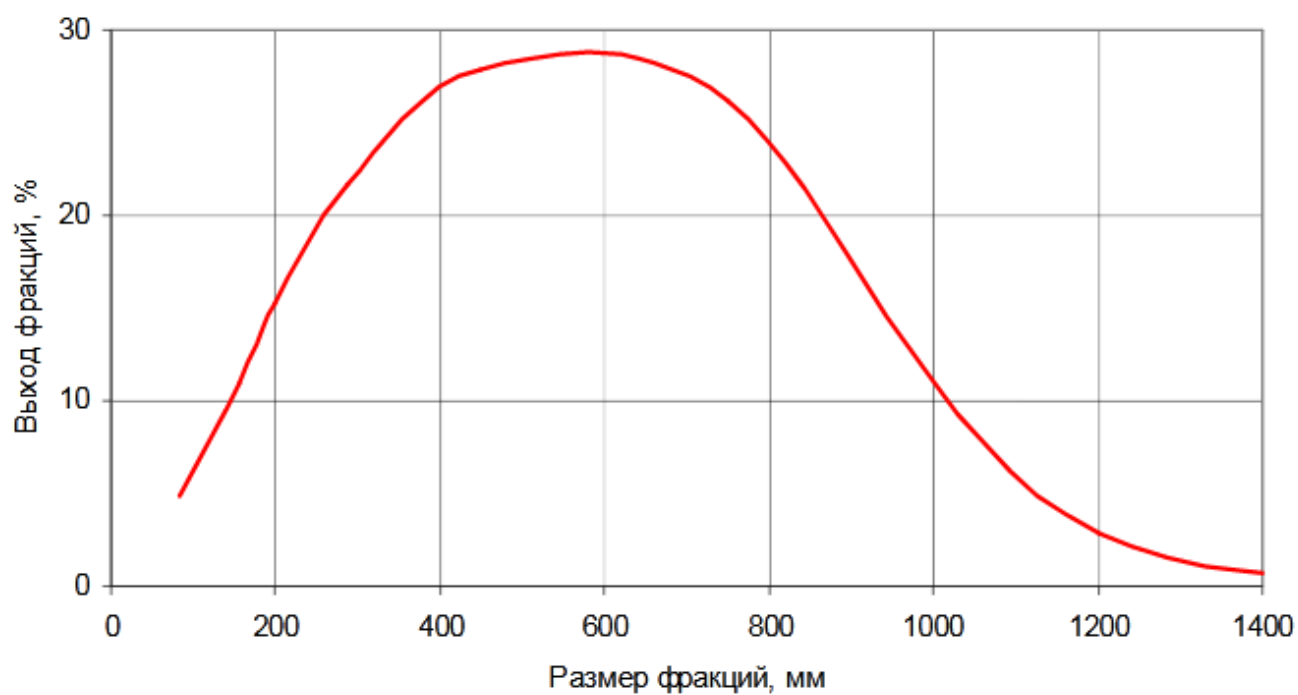


Рис 1.10 – Щільність розподілу ймовірностей $f(x)$ виходу фракцій [17]

Слід також відзначити результати досліджень, наведені у статті [19], які представлені у вигляді інтегральних кривих розподілу шматків після вибуху (рис 1.11).

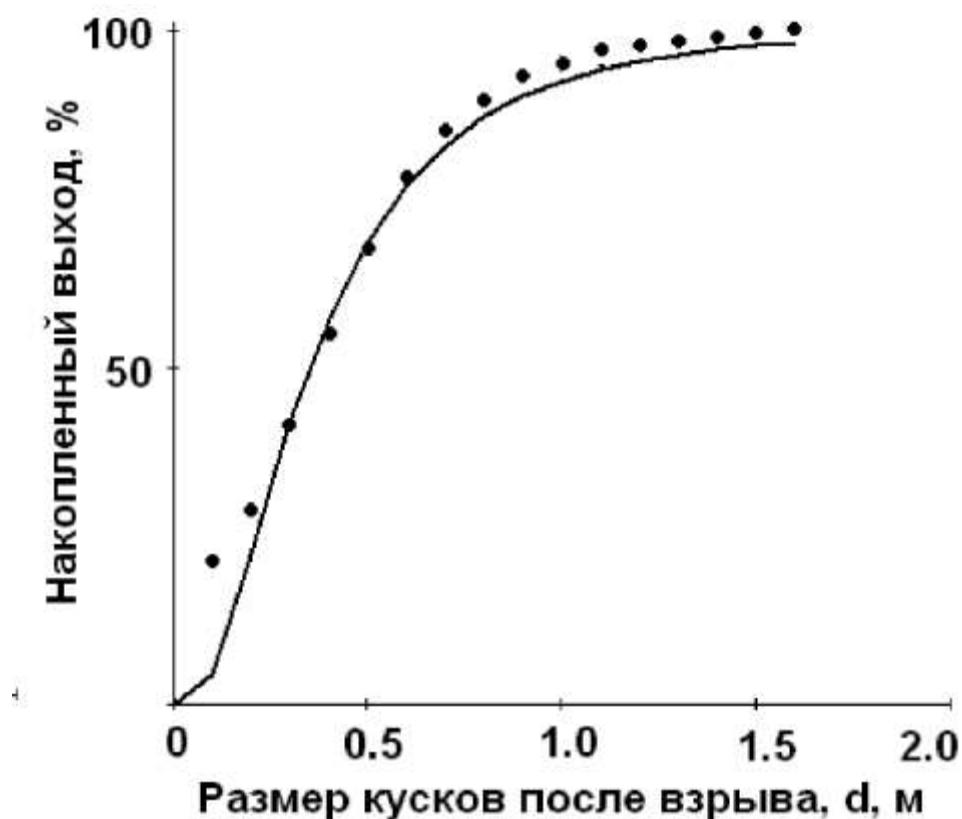


Рис 1.11 - Інтегральні криві розподілу шматків після вибуху [19]

У роботі [20] розглядається вплив гранулометричного складу підірваної скельної породи вибої на навантаженість напірного механізму екскаватора. За критерій якості підготовки вибою прийнято співвідношення обсягу ґрунту $V_{гр}$, з яким взаємодіє ківш екскаватора, мінімальним обсягом проби $V_{мін}$, який відбиває гранулометричний склад вибою. Повинно виконуватись нерівність $V_{гр} < V_{мін}$. У цьому випадку забій можна розглядати як сипуче середовище, при взаємодії з якою буде забезпечено зниження динамічних навантажень. Отримано аналітичні вирази для обчислення $V_{гр}$ та $V_{мін}$. Чисельний аналіз дозволив встановити взаємозв'язок між місткістю ковша та середнім діаметром шматка породи для порід з різним кутом внутрішнього тертя. Встановлено значення середнього діаметра шматка породи в розвалі вибою, при яких можна розглядати забій в цілому як сипуче середовище при взаємодії з ковшем екскаватора. Для оцінки впливу якості

підготовки вибою на експлуатаційні показники та технічний стан екскаваторів на одному з гірничодобувних підприємств було проведено виробничий експеримент з визначення параметрів кускуватості підірваної гірської маси застосуванням планиметричного методу визначення кількісного співвідношення у відпрацьованому вибої фракцій різної крупності. Результати аналізу показали значний розкид якості підготовки вибоїв у межах одного підприємства. На основі отриманих даних встановлено статистичний взаємозв'язок кількості відмов механізму напору екскаваторів ЕКГ-8І та витрат на ремонтне обслуговування з гранулометричним складом гірничої маси [20].

Наступні наукові роботи [21, 22, 23] містять цікаві відомості щодо гранулометричного складу підірваної гірської маси. Додатково наведено дослідження співвідношення габаритних розмірів крупних шматків.

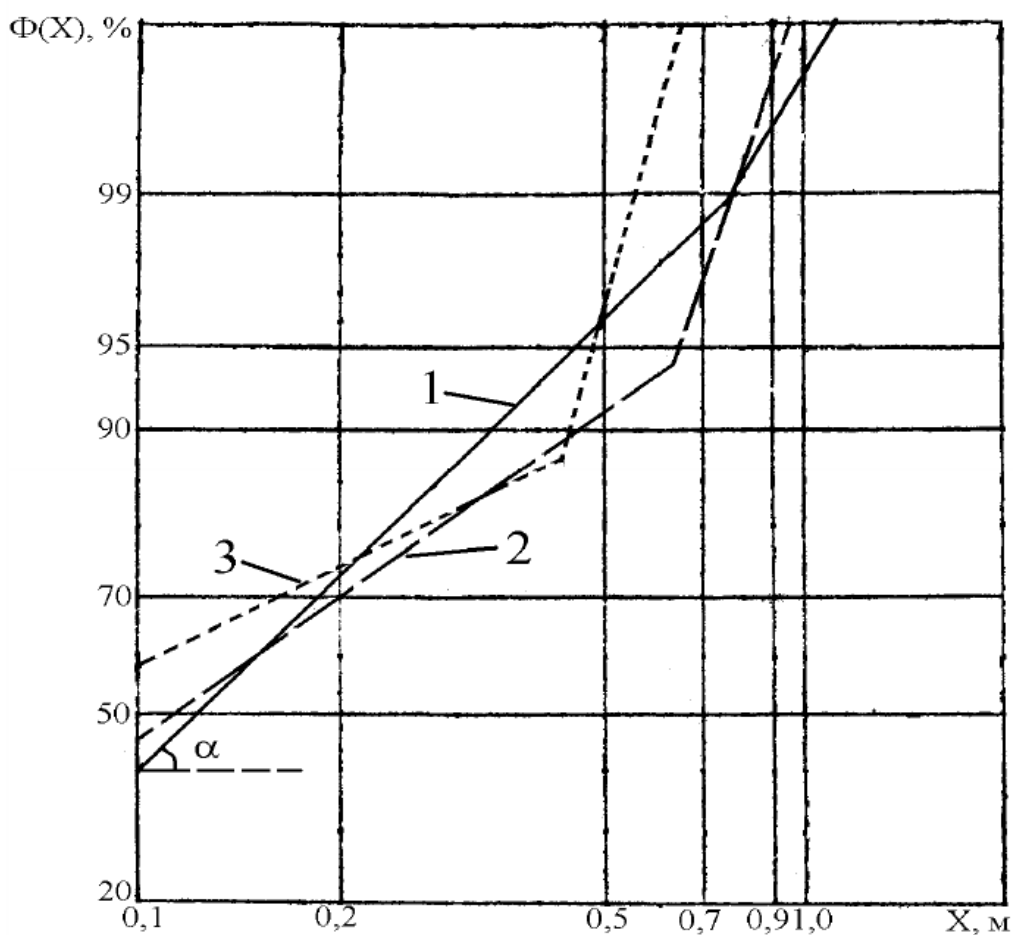


Рис. 1.12 – Розподілення гранулометричного складу при середньому розмірі шматка 0,20 м: 1 – при $\beta = 0,84$; 2 – при $\beta = 1,19$; 3 – при $\beta = 1,7$, де β - середньоквадратичне відхилення від середньгеометричного розміру діаметру [21]

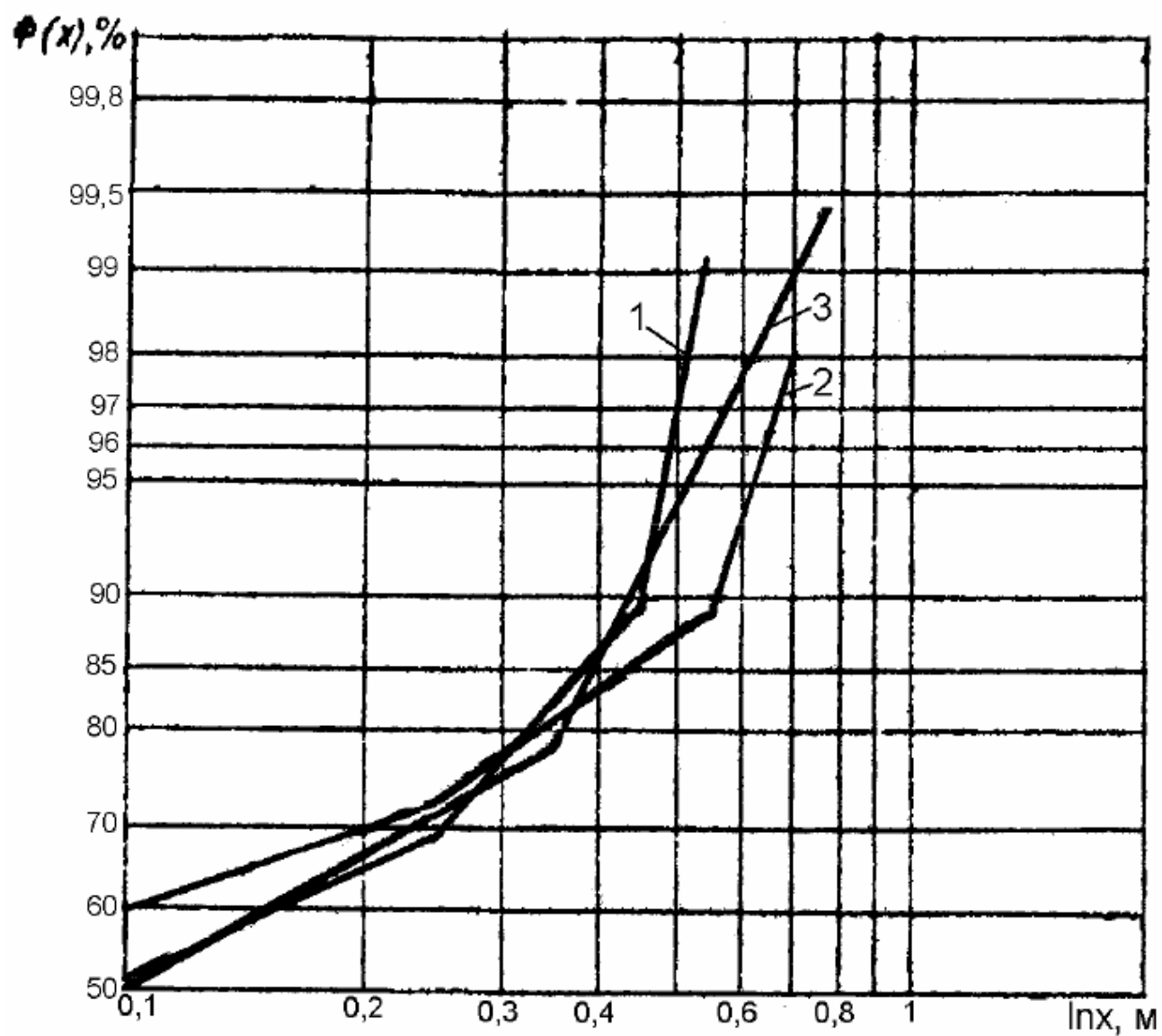


Рис. 1.13 - Розподілення гранулометричного складу при середньому розмірі шматка 0,21 м [22]: 1 – при $\beta = 0,84$; 2 – при $\beta = 1,19$; 3 – при $\beta = 1,73$

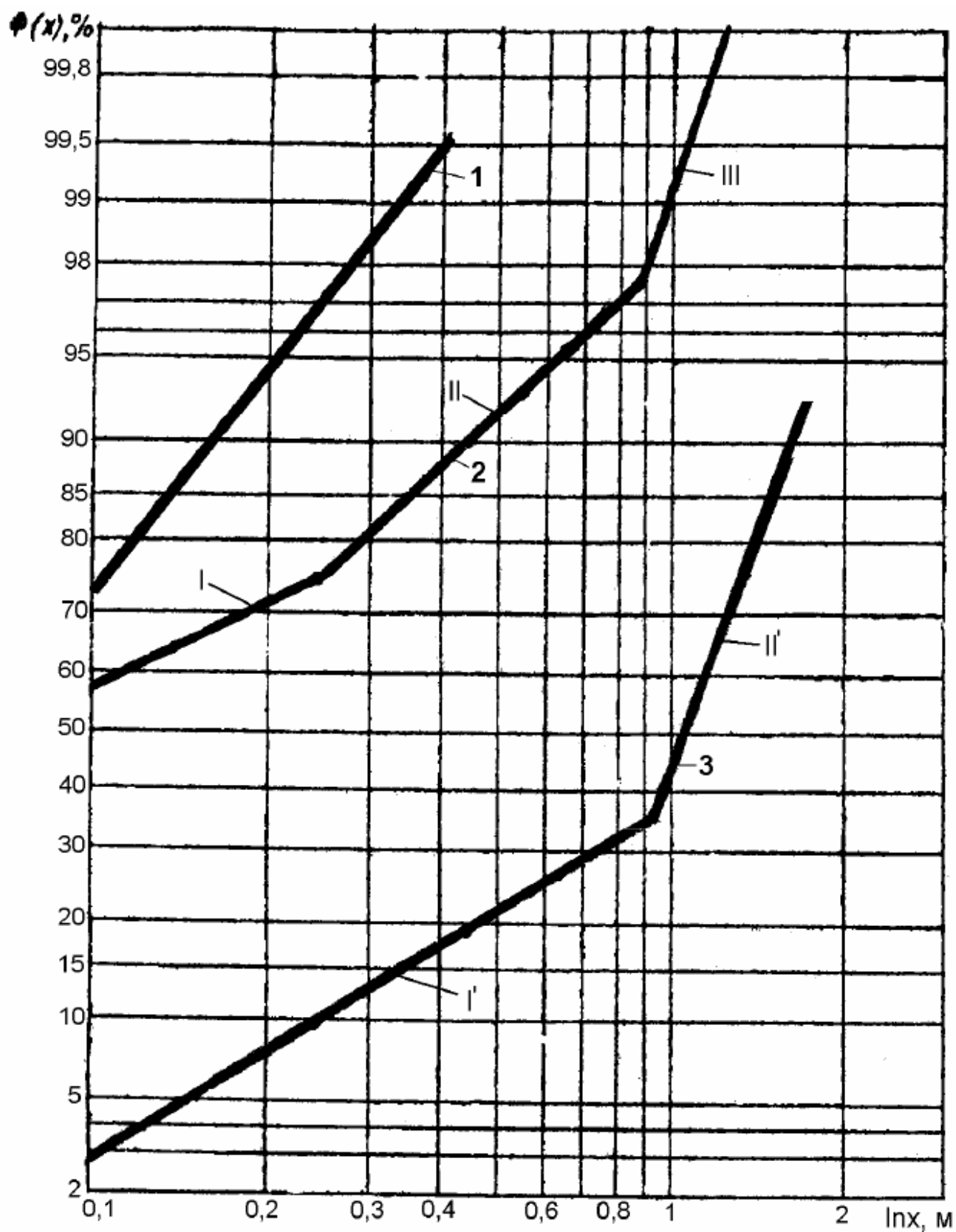


Рис. 1.14 - Розподілення гранулометричного складу гірської маси [23]: 1 – породи I категорії тріщинуватості; 2 – породи II і III категорій тріщинуватості; 3 – породи IV категорії тріщинуватості

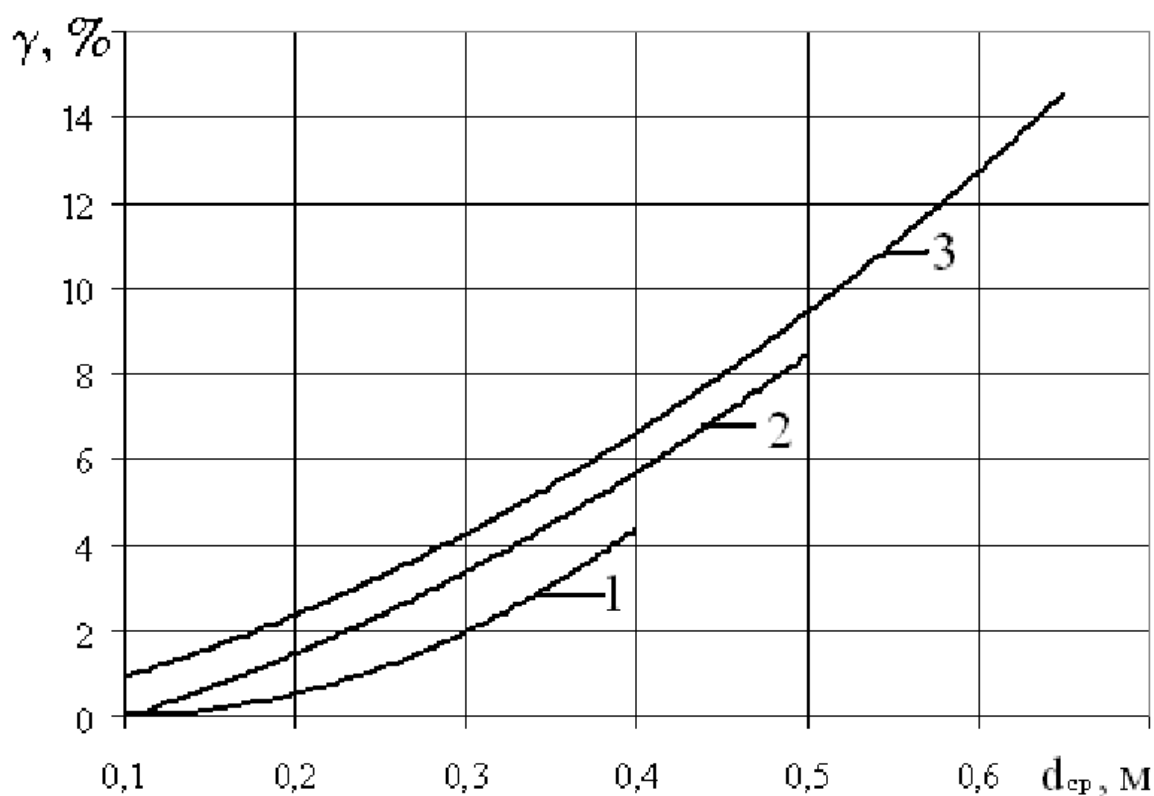


Рис. 1.15 – Залежність виходу у підірваній гірській масі фракцій + 1,0 м від середнього розміру шматка при логарифмічній дисперсії [23]: 1 - 0,8; 2 - 1,0; 3 - 1,3

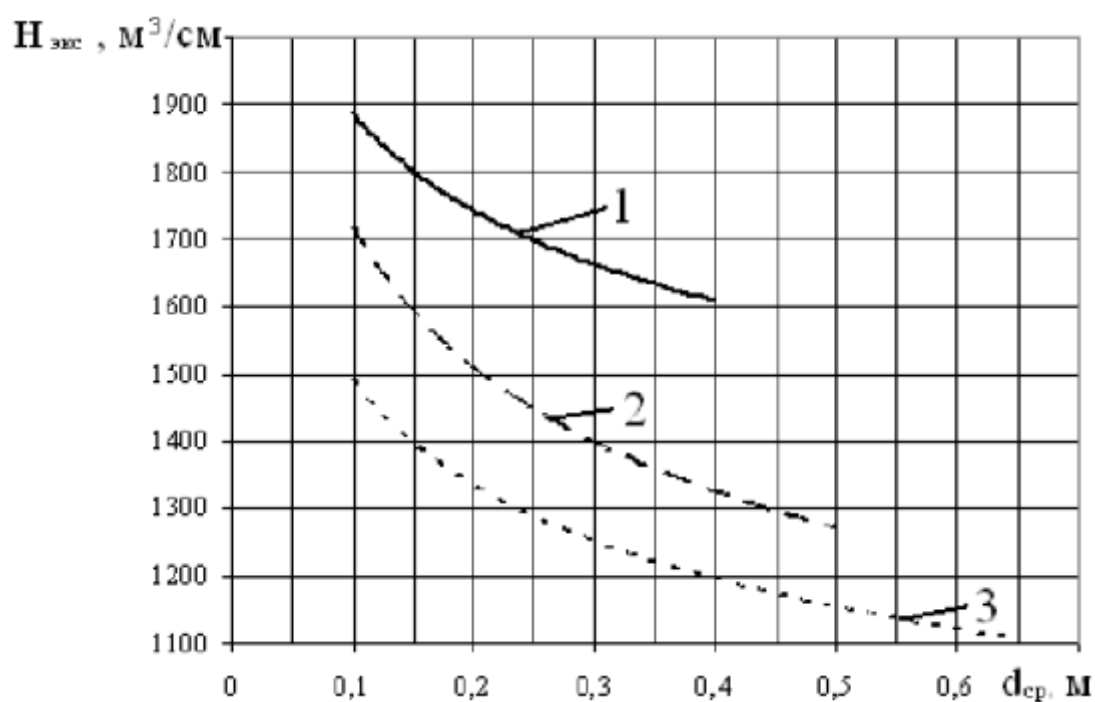


Рис. 1.16 – Залежність змінної продуктивності екскаватору ЕКГ-5А від середнього розміру шматка при логарифмічній дисперсії [23]: 1 - 0,8; 2 - 1,0; 3 - 1,3

Таблиця 1.6 – Чисельні характеристики форм шматка гірських порід різних фракцій на кар'єрі Малий Куйбас [22]

Розміри фракцій, м	Чисельна характеристика форм шматка $a : l' : c'$
0,005-0,020	1,76 : 1 : 0,62
0,020-0,050	1,67 : 1 : 0,67
0,05-0,10	1,69 : 1 : 0,72
0,10-0,50	1,71 : 1 : 0,70
0,5-1,0	1,65 : 1 : 0,69
1,0-2,5	1,70 : 1 : 0,8

1.4. Мета, об'єкт, предмет, завдання та методи дослідження

Метою роботи є покращення режиму роботи екскаваторів типу пряма лопата за рахунок обґрунтування раціональних параметрів процесу зачерпування ківшем гірської маси.

Об'єкт досліджень – процес завантаження ківшу породою при зачерпуванні екскаваторів типу пряма лопата.

Предмет дослідження – параметри процесу завантаження ківшу породою екскаваторів типу пряма лопата.

Завдання дослідження

1. Аналіз шляхів режиму зачерпування ківшем гірської маси;
2. Дослідження заповнення ківшу залежно від гранулометричного складу породи.
3. Дослідження впливу геометрії зубів ківшу на процес зачерпування ківшем гірської маси
4. Розробка рекомендацій щодо режиму зачерпування ківшем гірської маси.

Методи досліджень, що використовуються у роботі, включають патентний аналіз відомих конструкцій ківшів; методи аналітичного моделювання; методи комп'ютерного моделювання.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАЧЕРПУВАННЯ ГІРСЬКОЇ МАСИ КІВШЕМ ЕКСКАВАТОРУ ТИПУ ПРЯМА ЛОПАТА

2.1. Загальна методика досліджень

Задля досягнення поставленої мети покращення режиму роботи екскаваторів типу пряма лопата за рахунок обґрунтування раціональних параметрів процесу зачерпування ківшем гірської маси планується проведення наступних досліджень

На першому етапі буде проведено аналіз шляхів покращення режиму зачерпування ківшем гірської маси з використанням аналізу літературно-патентних джерел. Метою аналізу є визначення напрямів зниження навантажень, що діють на ківш під час зачерпування гірської маси.

Наступним етапом є проведення дослідження заповнення ківшу залежно від гранулометричного складу породи. Саме цей фактор є дуже впливовим на ступінь заповнення ківшу, причому у розглянутій літературі цьому питанню було приділено мало уваги.

Далі планується проведення дослідження, яке підтвердило б покращення режиму зачерпування ківшем гірської маси за допомогою визначеного способу, що встановлено попереднім аналізом літературно-патентних джерел.

Наприкінці проводиться розробка рекомендацій щодо режиму зачерпування ківшем гірської маси.

2.2. Аналіз шляхів покращення режиму зачерпування ківшем гірської маси

Мета винаходу [1] - забезпечити швидку та зручну заміну суцільної ріжучої кромки, для чого вона виконана з окремих знімних секцій. Прикріплені секції до передньої стінки ковша за допомогою хвостовиків, що входять до її припливів, та болтових з'єднань.

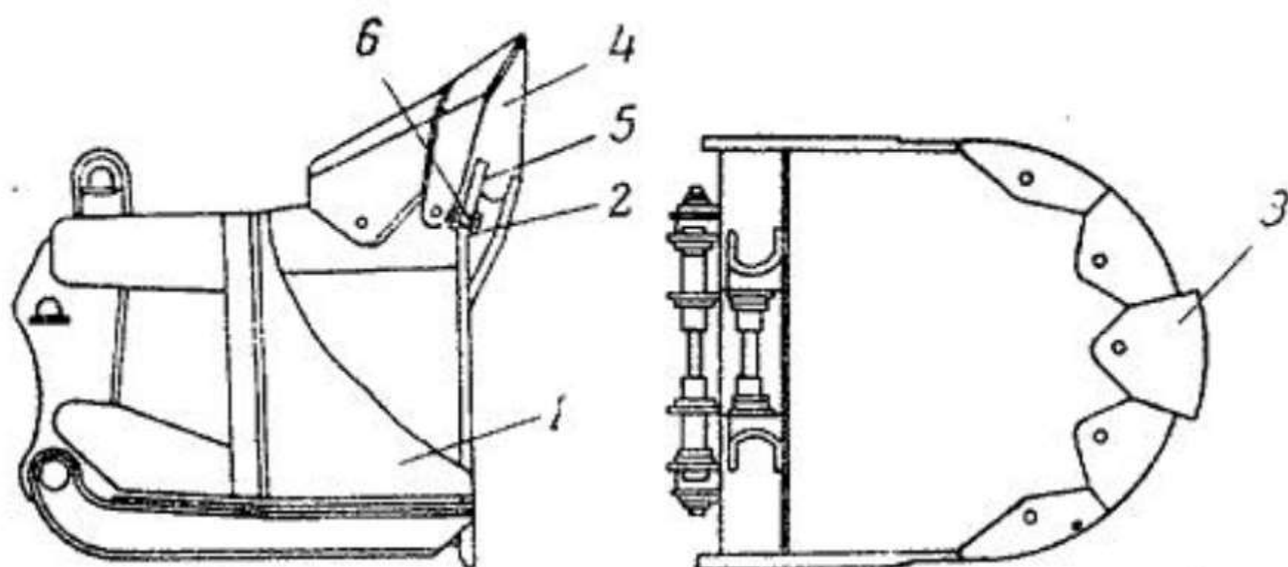


Рис 2.1 – До патенту [1]

Передня стінка ківшу 1 виконана з припливами 2, в яких кріпляться знімні секції 3 ріжучої кромки 4. Секції кріплять за допомогою хвостовиків 5, що входять в припливи, і болтових з'єднань 6. Центральна секція більш подовженої форми, ніж інші, що створює умови для більш інтенсивного врізання ківшу в щільні ґрунти, що злежалися.

Мета винаходу [2] - зниження енергоємності процесу попереднього розпушування.

Зазначена мета досягається тим, що зуби на днищі встановлені кількома поперечними ковшами рядами, у кожному з яких поздовжні осі зубів зміщені щодо поздовжніх осей інших зубів.

При цьому відстань між рядами визначено розташуванням зубів наступного ряду між поверхнею днища і дотичною до неї площиною, проведеною через основи зубів попереднього ряду, крім того, крайні зубці одного з рядів встановлені виступаючими за бічні стінки.

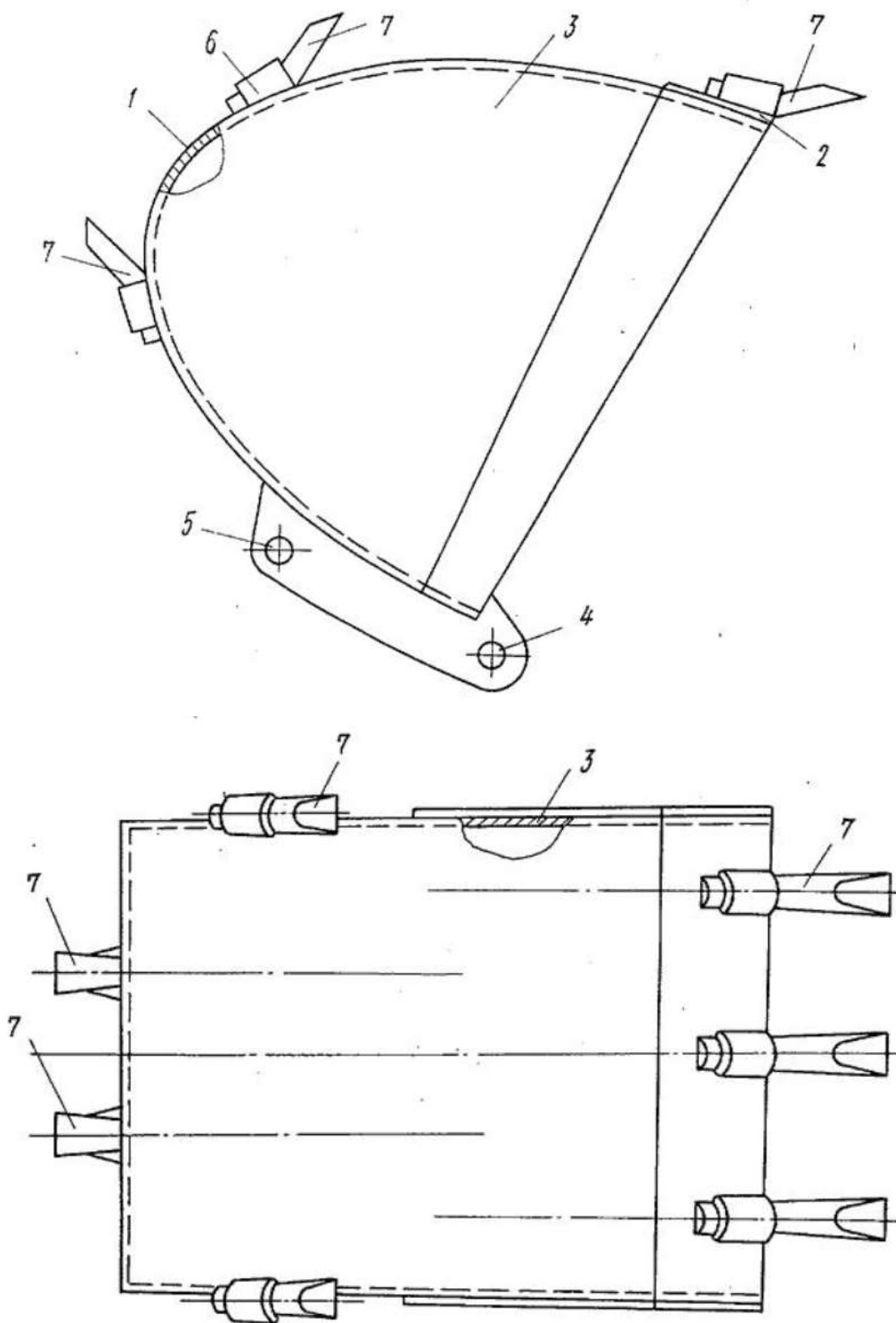


Рис 2.2 – До патенту [2]

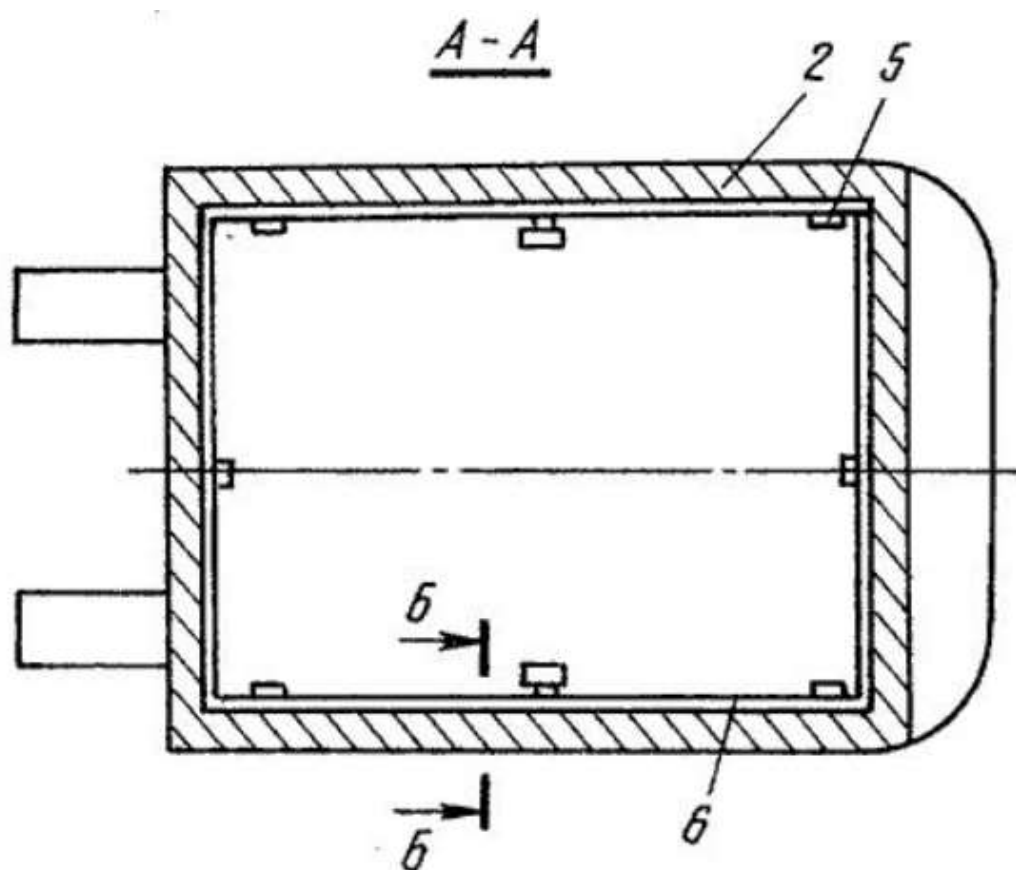
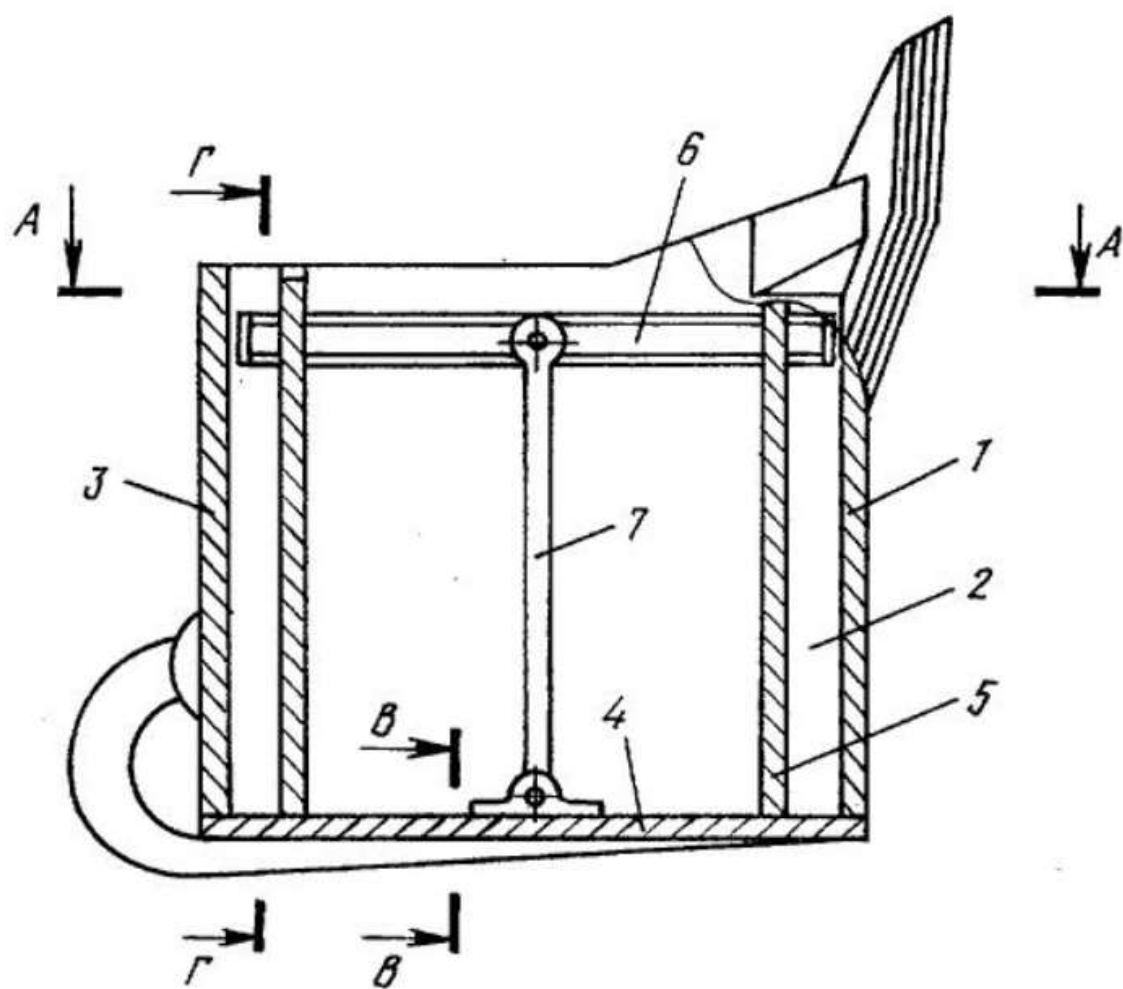
Ківш екскаватора для розробки мерзлих ґрунтів містить закруглене днище 1 з ріжучою кромкою 2, бічні стінки 3 передні вуха 4 і задні вуха 5 для кріплення

ковша до рукояті екскаватора. До ріжучої кромки 2 і днища 1 ковша за допомогою зубоутримувачів 6 прикріплені ряди зубів 7.

Екскаватор з ковшем працює так.

Ківш повертають і фіксують у такому положенні, щоб у роботі виявилися зубці 7, найбільш віддаленого від ріжучої кромки 2 ряду, і виробляють розпушування ґрунту. Потім ківш повертають і фіксують робоче положення наступного ряду зубів 7. Після розпушування ґрунту всіма рядами зубів 7, розташованими на днищі ковша 1, виробляють копання та зачерпування розпушеного ґрунту із зубами ріжучої кромки.

Метою винаходу [3] є підвищення якості очищення ковша. Ківш екскаватора складається з передньої 1, бічних 2, задньої стінок 3 поворотного днища 4. На внутрішній поверхні корпусу ковша в поздовжніх напрямних 5 встановлений очисний вузол 6, виконаний у вигляді замкнутої рамки, що повторює внутрішній профіль ковша. Шарнірна тяга 7 з'єднується з рамкою 6 за допомогою пальця 8, а з поворотним днищем 4 за допомогою пальця 9, встановленого в сережках 10, закріплених до днища. Замкнена рамка 6 виконана з двосторонніми ріжучими кромками з різними кутами загострення, при цьому ріжуча кромка, звернена до днища, має кут загострення $\beta_1 = 45-50^\circ$ і задній кут $\alpha_1 = 5-10^\circ$, у сумі кут різання $\delta_1 = \alpha_1 + \beta_1 = 50-60^\circ$, що є оптимальним з умови міцності ножа і надійності його експлуатації при первинному очищенні стінок ковша від налиплих або намерзлих матеріалів за допомогою різання і зсуву.



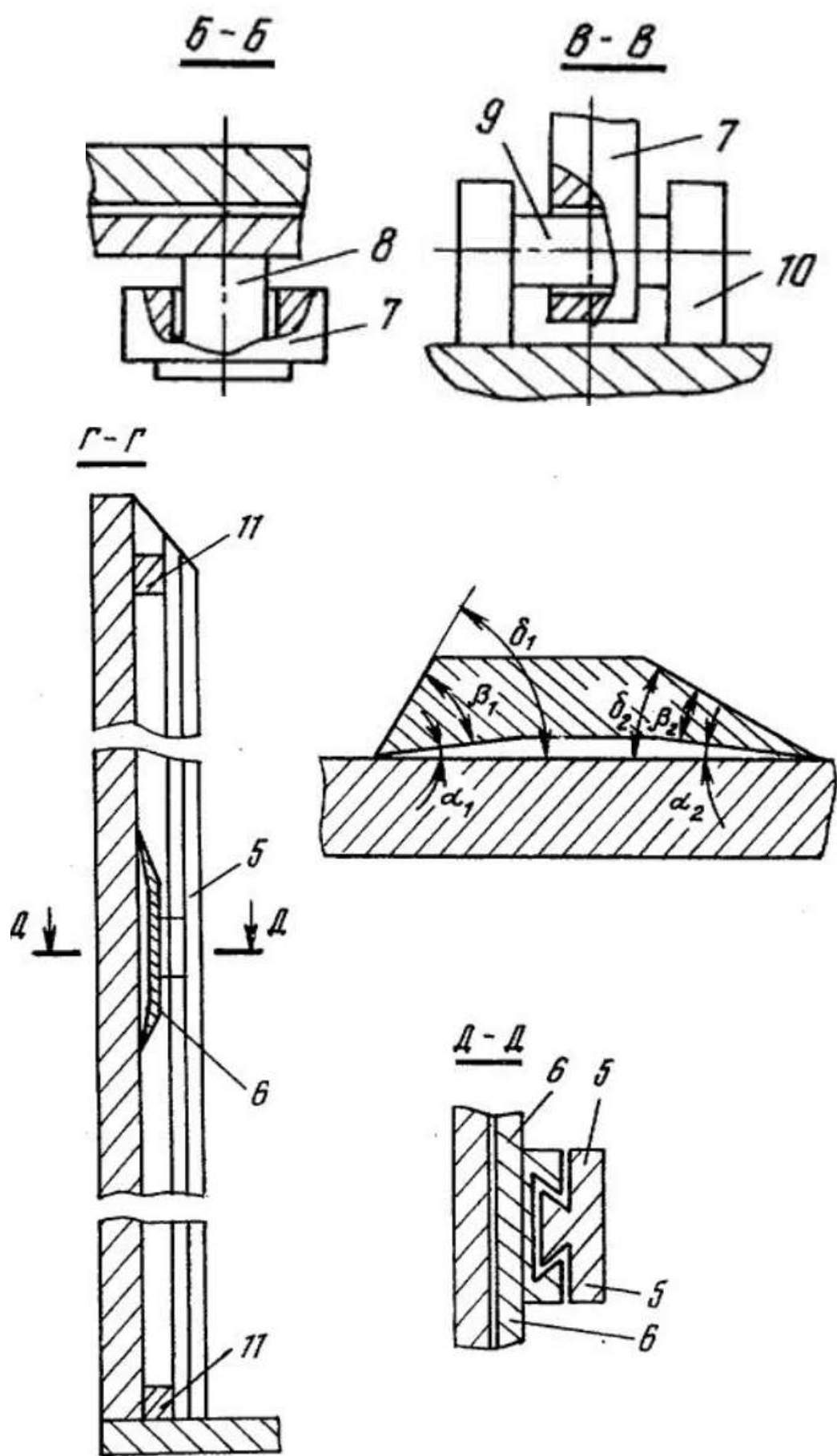


Рис 2.3 – До патенту [3]

Протилежна ріжуча кромка має менший кут загострення різання при $\alpha_2 = 5-10^\circ$; $\beta_2 = 25-30^\circ$ у сумі складає $\delta_2 = \alpha_2 + \beta_2 = 30-40^\circ$, що дозволяє проводити доочищення ковша під час руху рамки вгору з мінімальним зусиллям різання, що забезпечується механізмом закривання днища ковша.

Поздовжні напрямні 5 у вигляді ластівчиного хвоста прикріплюються на прокладках 11 до внутрішніх стінок ковша і встановлюються по краях бічних і посередині передньої та задньої стінок. Прокладки 11 запобігають виходу рамки з ковша при крайніх положеннях ножа.

Очищення ковша екскаватора здійснюється в такий спосіб.

Після наповнення ковша ґрунтом проводиться його розвантаження. При цьому під дією ваги ґрунту поворотне днище 4 починає відкриватися. Відкривання днища 4 викликає переміщення рамки 6 за допомогою шарнірних тяг 7 вниз, виробляючи первинне очищення стінок I-3 ковша від налипшого або намерзлого шару матеріалу. При закриванні днища 4 рамка 6 переміщається вгору, здійснюючи доочищення стінок ковша.

Конструкція очисного вузла дозволяє якісно та надійно здійснювати очищення налиплих чи намерзлих сировинних матеріалів до стінок ковша без додаткових енерговитрат.

Наявність очисного вузла зазначеної конструкції усуває внутрішньозмішні простой, обумовлені необхідністю зачистки стінок ковша, підвищує продуктивність роботи екскаватора і надійність в експлуатації.

Метою винаходу [4] є зниження енергоємності процесу копання при роботі екскаватора на неоднорідних та з кам'янистими включеннями ґрунтах.

Ківш екскаватора містить бічні і задню стінки 2 і днище 3 з ріжучою кромкою у вигляді зубів 4. Кожен зуб 4 складається з наконечника 5 і хвостовика 6 з кулачковим упором 7. Хвостовики 6 зубів 4 встановлені в закріплених на днищі 3 гніздах 8 рухомі гвинтові пари, кут різьблення яких більше кута тертя. Наконечники 5 4 зубів спираються на гнізда 8 через пружні елементи у вигляді пружин 9 стиснення. На днищі 3 шарнірно змонтовані двоплечі важелі 10 з опорними поверхнями 11 на вільних кінцях плечей 12. Зуби 4 розташовані на днищі

з можливістю взаємодії кулачкових упорів 7 їх хвостовиків 6 з опорними поверхнями 11 двоплечих важелів.

Ківш екскаватора працює в такий спосіб.

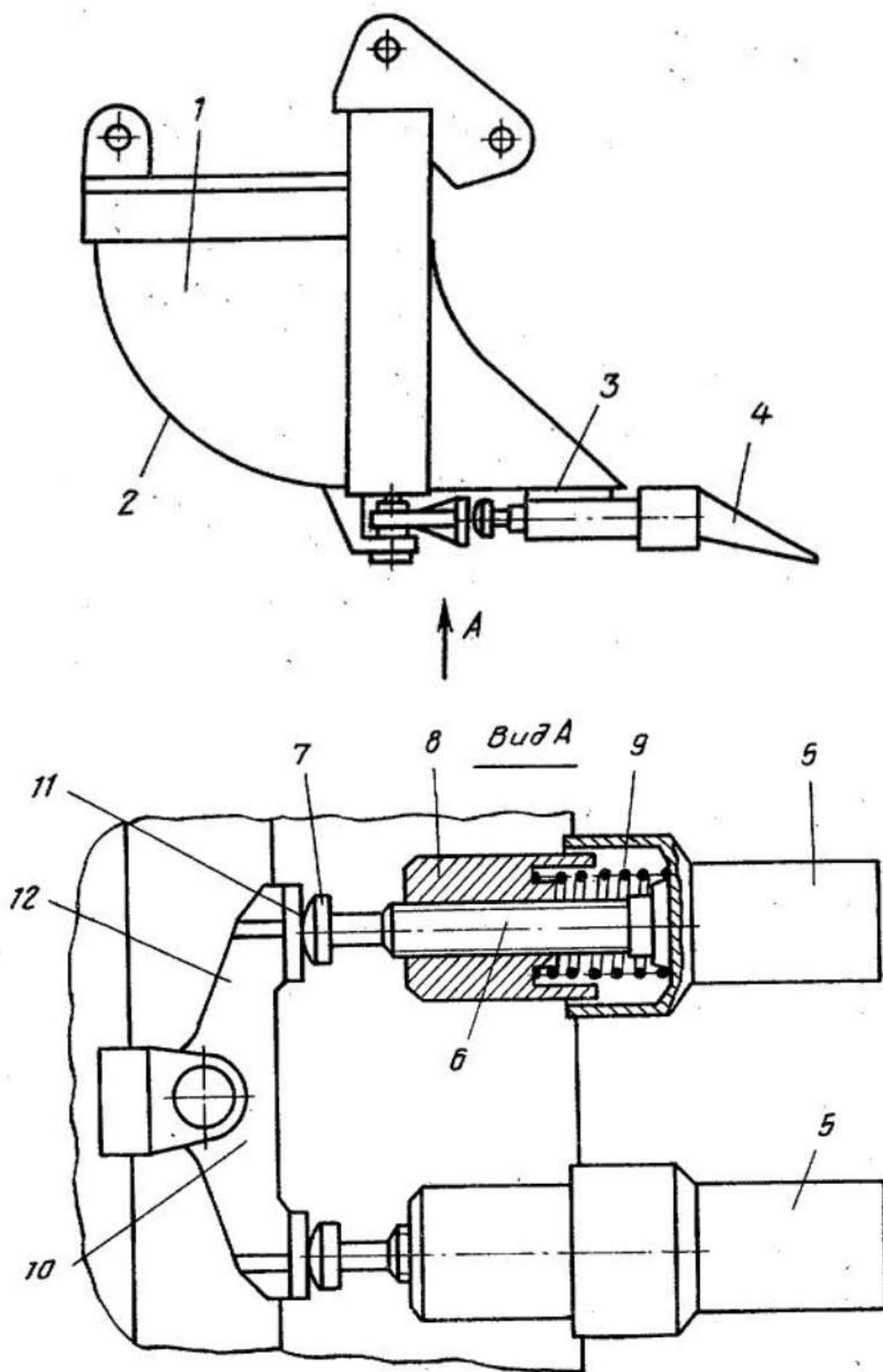


Рис 2.4 – До патенту [4]

При розробці ґрунтів з кам'янистими або іншими твердими включеннями наконечник 5 зуба 4, зустрічаючи більший опір, ніж наконечник суміжного 5 зуба 4, переміщається відносно днища 3 в бік, протилежну напрямку руху ковша. При цьому кулачковий упор 7, впливаючи на плече 12 двоплечого важеля 10, повертає останній навколо осі його повороту і тим самим передає суміжному зубу 4 силовий імпульс. Так як хвостовик 6 і гніздо 8 утворюють гвинтову пару, то наконечник 5 зуба 4, переміщаючись, здійснює одночасно поворот навколо поздовжньої осі зуба 4. Внаслідок цього ; наконечник 5 надає відриваючу дію на стружку, що зрізається, полегшуючи тим самим відділення від масиву або руйнування твердого включення, що знаходиться на напрямку руху даного зуба 4. Суміжний зуб 4, отримавши силовий імпульс, переміщується щодо днища вперед по напрямків) руху ковша, і наконечник повертаючись навколо поздовжньої осі зуба 4, також виконує додаткове розпушування ґрунту, що розробляється. У результаті цього зменшується загальний опір копанню. При вирівнюванні сил різання на обох суміжних зубцях 4 пружина 9 стиснення повертає зуби 4 в нейтральне положення.

Мета винаходу [5] є підвищення довговічності роботи ковша за рахунок зниження напруг, що діють на його задню стінку.

Ківш екскаватора "пряма лопата" містить бічні стінки 1 з вушками 2 для кріплення ковша до навішування 3, задню стінку 4 з попарно розміщеними вушками 5 для кріплення ковша до рукояті, передню стінку 6 з ріжучою кромкою 7 і поворотне днище 8, закріплений за допомогою вушок 9.

Задня стінка 4 виконана в плані у вигляді рівнобічної трапеції, яка торцевими кромками бічних сторін з'єднана з кромками торцевими бічних стінок 1.

Вуха 5 для кріплення ковша до рукояті розташовані у вершинах меншої основи трапеції і з'єднані між собою за допомогою кріпильних балок 10, які жорстко закріплені на задній стінці 4.

Задня стінка ковша виконана з виливків 11, пов'язаних вставкою 12, а кожна бічна стінка 1 утворена вставкою 13, що з'єднує торцеві кромки виливки 11 і передньої стінки 6. У виливках 11 виконані пази 14 для вушок 2 кріплення ковша

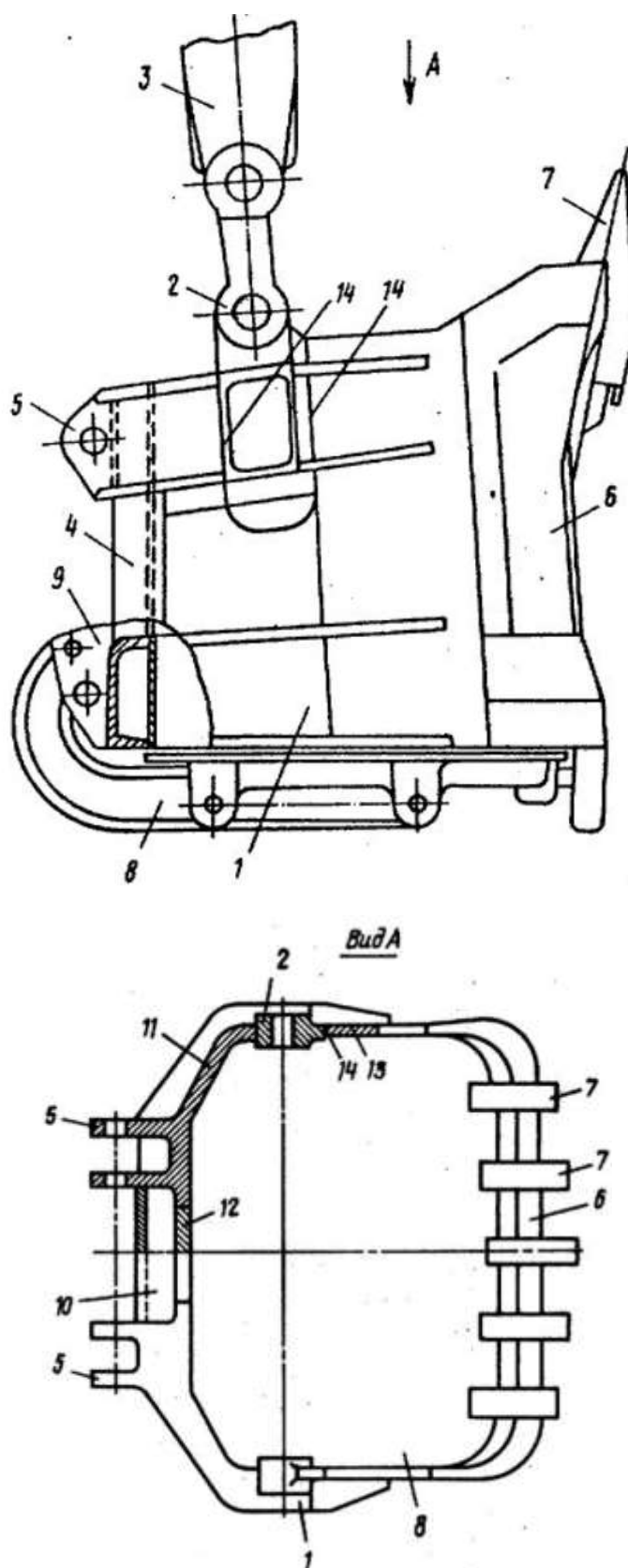


Рис 2.5 – До патенту [5]

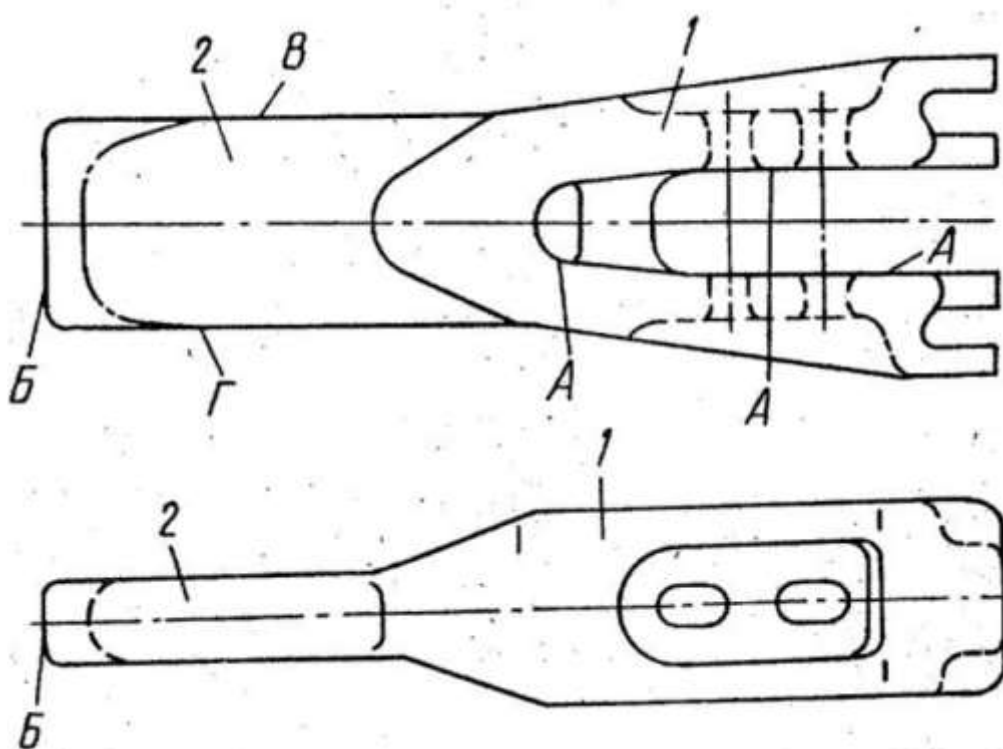
Ківш працює в такий спосіб.

Процеси різання ґрунту, його набору в ківш та розвантаження при роботі пропонованого ковша аналогічні відповідним процесам при роботі ковшів "пряма

лопата". Зусилля, що передається від рукояті через вуха 5 на задню стінку 4, розкладається на дві складові, спрямовані по меншій підставі трапеції та її бічних стінок, що обумовлює зниження згинального моменту, що діє на задню стінку 4 ковша.

Мета винаходу [6] - підвищення ефективності роботи зуба шляхом можливості зменшення опору впровадженню.

Досягається це тим, що робоча частина зуба виконана прямокутною в поперечному перерізі з пов'язаними між собою ріжучими кромками, причому велика сторона прямокутника розташована перпендикулярно до опорної поверхні.



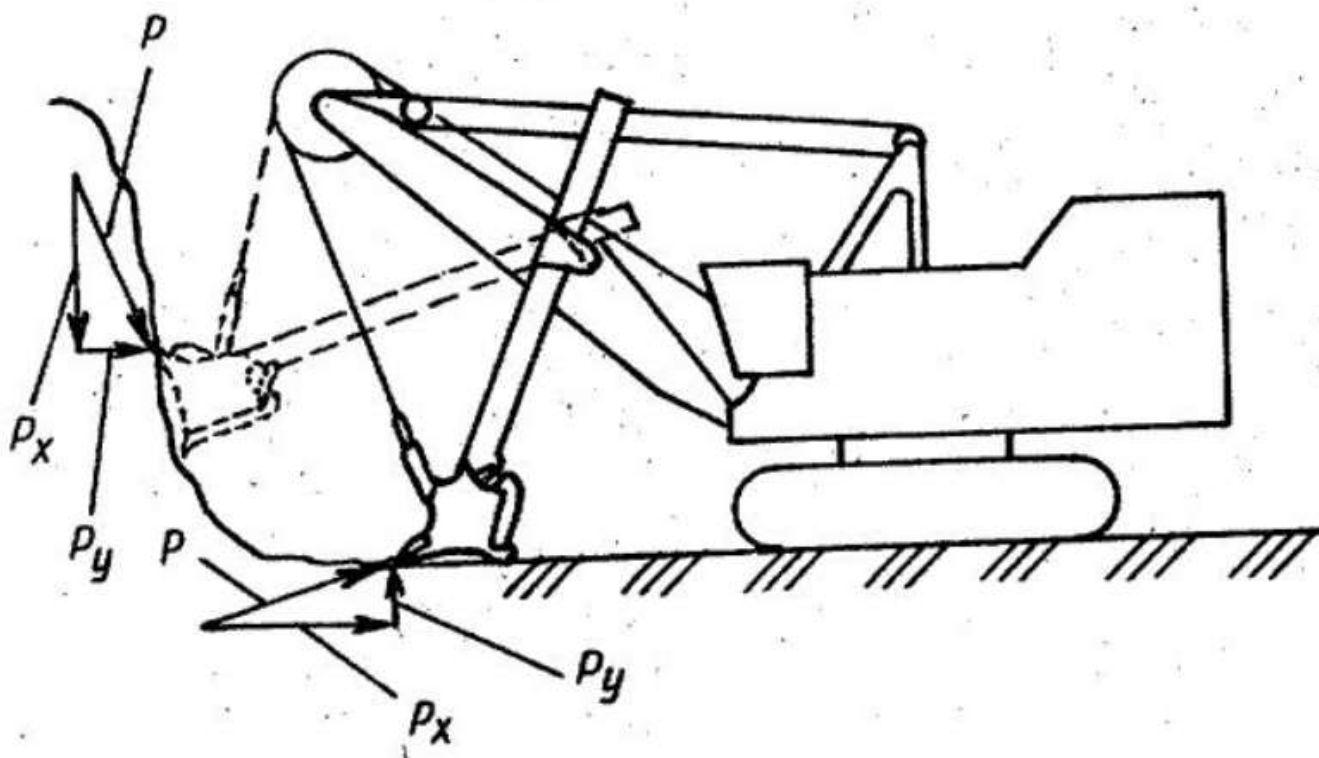


Рис 2.6 – До патенту [6]

Зуб ковша складається з хвостовика 1, одяганого на ріжучу кромку передньої стінки ковша і з опорними поверхнями А, і робочої частини 2. має прямокутний поперечний переріз і з поєднаними між собою ріжучими кромками. При цьому велика сторона прямокутника розташована перпендикулярно до паралельних між собою опорних поверхонь А, а мала сторона - паралельно їм.

Зуби одягаються, як завжди, на передню стінку ковша і закріплюються болтами з гайками.

У процесі копання зуб впроваджується в породу під дією спрямованої вздовж нього складової P_x зусилля копання P . Одночасно нею діє поперечна складова P_y .

Так як робоча частина виконана прямокутною з великою стороною прямокутника. розташованої перпендикулярно опорним поверхням хвостовика зуба, а значить, і ріжучій кромці ковша, то зусилля P_y сприймається . У міру зношування робочої частини зуб коротшає, проте радіус заокруглення залишиться приблизно постійним аж до повного зношування робочої частини зуба. Цілком природньо. що в процесі роботи екскаватора зношується верхня кромка В і нижня

Р. але знос кромки В і Г менш інтенсивний, ніж кромки Б, так як складова R_y в середньому менше складової R_x , Тому зуб у міру зносу набуває форми, зображену штрих-пунктирними лініями-

Оскільки зуб виконаний порівняно вузьким у напрямку копання, це дозволяє зменшити опір копання, разом з тим забезпечується більш ефективне розпушування породи і знижується енергоємність копання.

Таким чином, винахід забезпечує підвищення ефективності роботи зуба.

Метою винаходу [7] є підвищення ефективності розвантаження ковша.

Зазначена мета досягається тим, що в ковші екскаватора, що включає монтажний пояс, бічні стінки, козирок з ріжучою кромкою і шарнірно з'єднані з монтажним поясом і козирком гнучке днище з поздовжніх рядів різних за масою окремих ланок, ланки в рядах виконані зі збільшенням їх площини симетрії ковша до його бокових стінок, а крок установки рядів ланок прямо пропорційний різниці мас відповідних ланок.

Виконання ланок у рядах зі збільшенням їх маси від поздовжньої площини симетрії ковша до його бічних стінок дозволяє врахувати відмінні умови роботи кожного ряду гнучкого днища, щодо бічних стінок ковша та характеру розподілу по днищу ковша сил тяжкості ґрунту, що розвантажується, сил тяжіння ланок і сил тяжіння ланок. Це дає можливість розширити спектр коливань такого днища та отримати більш раціональну їх форму при розвантаженні ґрунту з ковша.

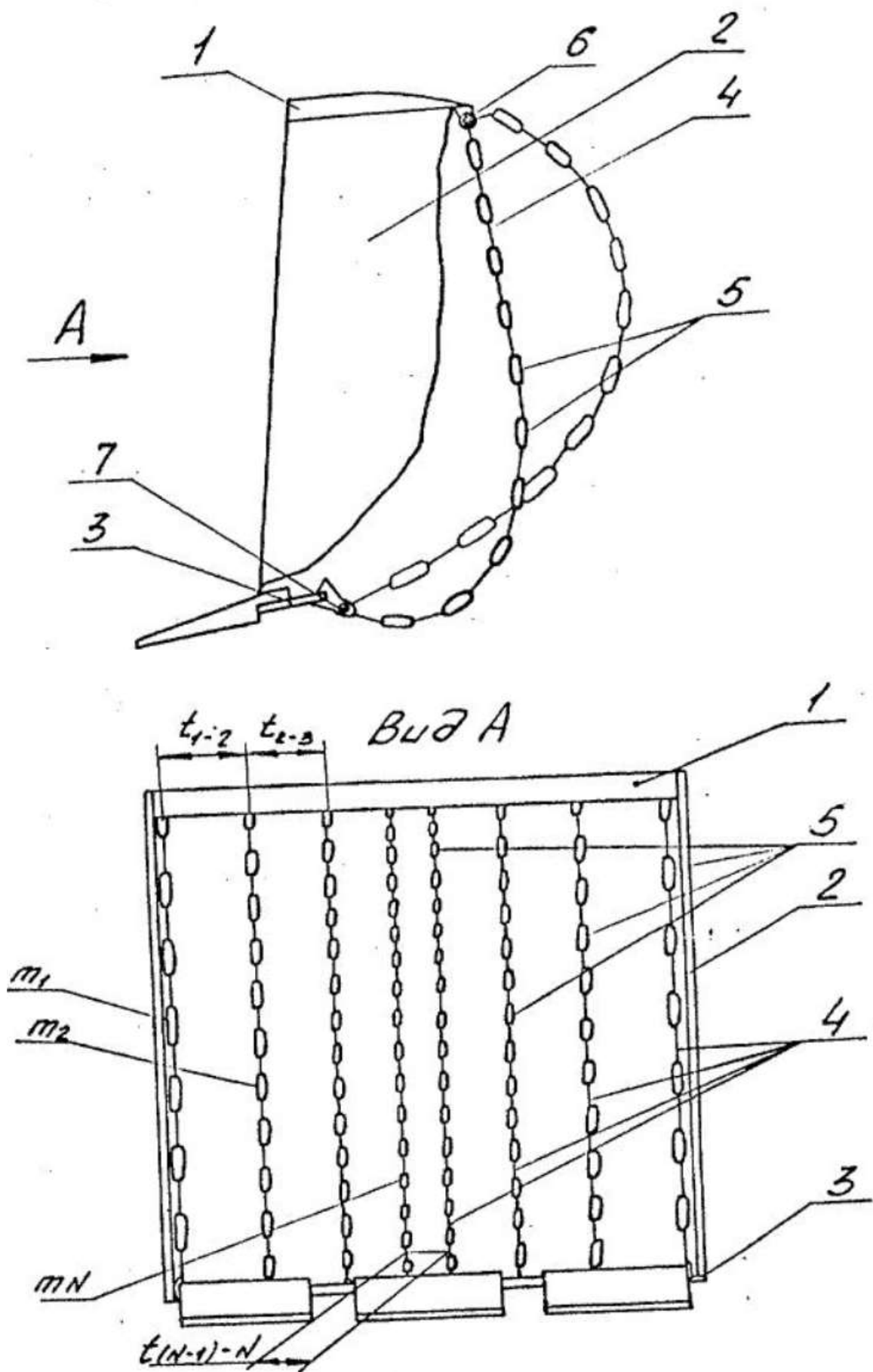


Рис 2.7 – До патенту [7]

Прийняття кроку установки рядів ланок прямо пропорційно різниці мас відповідних ланок дозволяє виключити появу застійних зон ґрунту в кінці при його розвантаженні.

Порівняльний аналіз з прототипом показує, що заявляється ківш екскаватора відрізняється тим, що збільшення маси ланок виконано від центру днища до бічних стінок ковша, а крок установки рядів ланок щодо бічних стінок ковша прямо пропорційний різниці цих мас.

Таким чином, ківш екскаватора, що заявляється, відповідає критерію винаходу "новизна".

Порівняння заявляється рішення не тільки з прототипом, але і з іншими технічними рішеннями в даній галузі техніки не дозволяє виявити в них ознаки,

що відрізняють заявляється рішення від прототипу, що дозволяє зробити висновок про відповідність критерію "суттєві відмінності".

Ківш екскаватора складається з монтажного пояса 1, бічних стінок 2, козирка 3 з ріжучою кромкою, гнучкого днища 4, виконаного зі складених у кілька рядів ланок 2 N (де N - число рядів по вертикальній осі симетрії днища; 1, 2, 3, N...3, 2, 1) по ширині ковша ланок 5 рівної масою m у кожному ряду ($m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$, але збільшується від центру днища (центрального ряду) до бокових стінкам ковша ($m_1 > m_2 > m_3 \dots > m_n$) Верхній кінець днища 4 кріпиться за допомогою шарнірів 6 до монтажного поясу 1, а нижній кінець - за допомогою шарнірів 7 до козирка 3. Крок t ($t_{1-2}; t_{2-3}; t_{3-4}; \dots t_{(N-1)-N}$) між рядами ланок, щодо бічних стінок ковша, прямо пропорційний різниці 5 мас цих ланок

$$\frac{t_{1-2}}{t_{2-3}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3}; \frac{t_{2-3}}{t_{3-4}} = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_4} \quad (2.1)$$

Для забезпечення ефективної роботи кожного ряду ланок по відношенню до ґрунту, що розвантажується з ковша, забезпечується по кожному ряду умова

$$(A_{zi} + A_{zi}) \geq A_{ni} \quad (2.2)$$

де A_{zi} - робота сил тяжкості ґрунту, що розвантажується, по даному (і-му) ряду; A_{zi} - робота сил тяжіння ланок (і-го) ряду; A_{ni} - робота сил налипання ґрунту по (і-му) ряду.

Наприклад, ківш екскаватора, геометричної ємністю $0,25 \text{ м}^3$ має конструктивно загальну масу 48 кг і ширину днища 700 мм . Виходячи з умов експлуатації такого ковша, на ньому встановлюється гнучке днище, конструктивно виконане з 2-8 рядів ланок. Експериментально, шляхом дослідних вимірювань та розрахунків (наприклад, графопобудовою, визначенням липкості ґрунтів тощо), по кожному ряду встановлено значення

$$A_{r1} = 0,5 \text{ Дж}; A_{л1} = 21,0 \text{ Дж}; \Sigma I_1 = \Sigma I_2 = \Sigma I_3 = \Sigma I_4;$$

$$A_{r2} = 0,7 \text{ Дж}; A_{л2} = 10,0 \text{ Дж};$$

$$A_{r3} = 1,4 \text{ Дж}; A_{л3} = 4,0 \text{ Дж};$$

$$A_{r4} = 2,2 \text{ Дж}; A_{л4} = 0,5 \text{ Дж і т.д.}$$

З наведеної умови, з урахуванням отриманих даних, маємо:

$$A_{з1} = 21,5 \text{ Дж}; A_{з2} = 10,0 \text{ Дж}; A_{з3} = 5,4 \text{ Дж}; A_{з4} = 2,7 \text{ Дж і т.п.}$$

Враховуючи, що $A_{зи}$ може бути виражено у вигляді ($m \cdot g \cdot \Sigma I_i$), отримуємо значення маси ланок у кожному ряду: $m_1 = 1,0 \text{ кг}$; $m_2 = 0,5 \text{ кг}$; $m_3 = 0,25 \text{ кг}$; $m_4 = 0,125 \text{ кг}$ і т.д. Виходячи з умови, що сумарні маси ланок у рядах Σm_i пропорційні значенням точкових мас цих ланок можна записати:

$$\Sigma m_1 + \Sigma m_2 + \Sigma m_3 + \Sigma m_4 + \dots + \Sigma m_{2N} = 48 \text{ кг} \quad (2.3)$$

або

$$\Sigma m_1 + \frac{\Sigma}{2} + \frac{\Sigma m_1}{4} + \frac{\Sigma m_1}{8} + \dots + \Sigma m_1 = 48 \text{ кг} \quad (2.4)$$

звідки

$\Sigma m_1 = 12,8 \text{ кг}$; $\Sigma m_2 = 2,4 \text{ кг}$; $\Sigma m_3 = 3,2 \text{ кг}$; $\Sigma m_4 = 1,6 \text{ кг}$ і т.д., а кількість ланок у рядах $\frac{\Sigma m_i}{m_i}$ є рівними і складала 13 шт.

Визначивши відношення кроків між рядами ланок

$$\frac{t_{1-2}}{t_{2-3}} = 2; \frac{t_{2-3}}{t_{3-4}} = 2 \quad \text{і т.д.} \quad (2.5)$$

У даному випадку таке відношення є однаковим и дорівнює 2, можна записати $t_{1-2} + 2t_{1-2} + 4t_{1-2} + \dots + t_{1-2} = 700 \text{ мм}$, звідки $t_{1-2} = 50 \text{ мм}$, $t_{2-3} = 25 \text{ мм}$, $t_{3-4} = 12,5 \text{ мм}$, і т.д.

Ківш екскаватора працює наступним чином.

При копанні, у міру переміщений ґрунту всередину ковша, стружка, руйнується козирком 3 з ріжучою кромкою, заповнюючи робочий об'єм ковша. При цьому ґрунт діє на жорсткі бічні стінки ковшу 2 і його гнучке днище 4, яке завдяки своїй рухливості переміщається в крайнє верхнє положення.

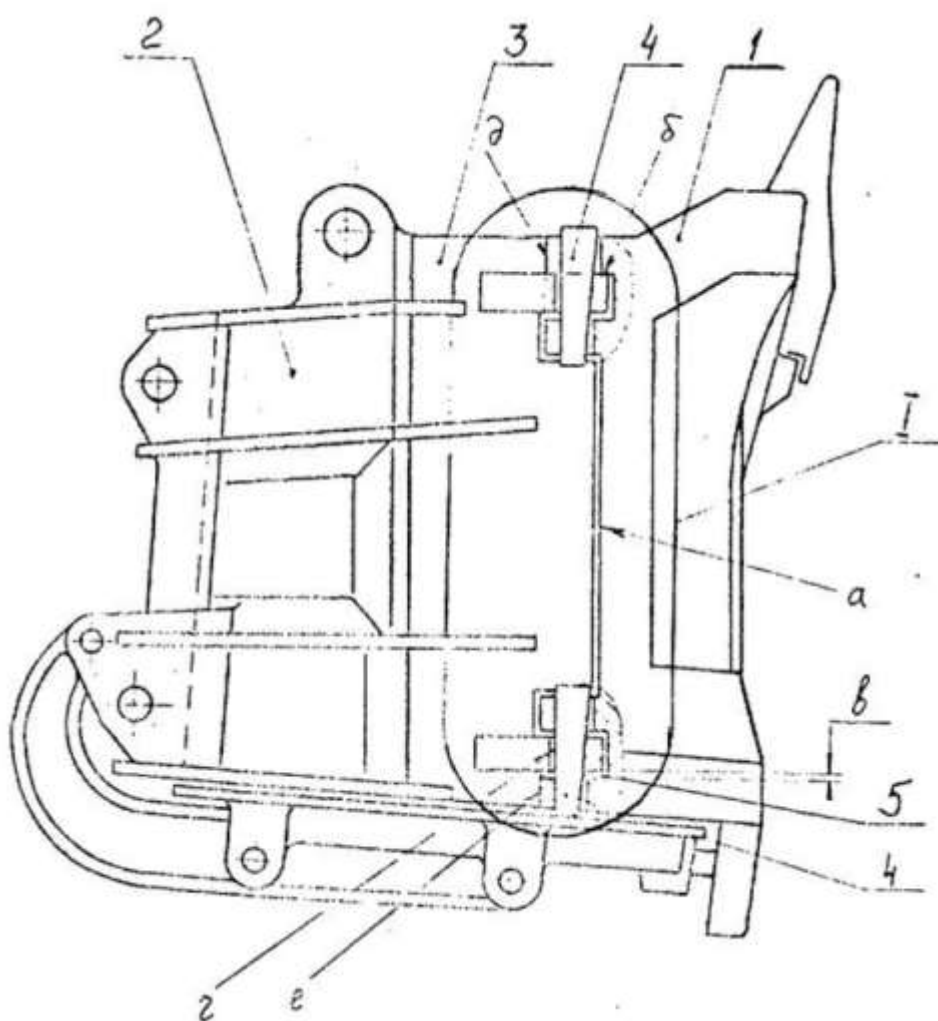
У положення вивантаження, розвантаження ґрунту з ковша відбувається в результаті сил тяжіння ланок кожного ряду гнучкого днища і сил тяжкості ґрунту, що розвантажується (які мають максимальні значення в центрі днища і мінімальні у бічних стінок ковша), при подоланні сил налипання ґрунту (які мають максимальні значення у бічних стінок ковша та мінімальні - в центрі 10 днища). Оскільки в даній конструкції характер розподілу мас ланок у кожному ряду днища 4 виконаний з урахуванням характеру розподілу вище названих сил, що діють при розвантаженні ґрунту, то це 15 дає можливість по кожному ряду ланок днища отримати найбільш оптимальний характер їх коливань на шарнірах 6 і 7 з найбільш раціональною їх формою щодо як монтажного поясу 1 і козирка 3, так і бічних стінок 2. Характер розподілу кроку установки рядів ланок, що враховує характер розподілу мас цих ланок, щодо бічних стінок ковша, дозволяє виключити появу застійних зон ґрунту в ковші (зокрема поблизу поверхонь бічних стінок) під час його розвантаження.

При використанні даної конструкції ковша екскаватора на 20-30% підвищується ефективність розвантаження ґрунту з ковша, в результаті зменшується налипання ґрунту на робочі поверхні ковша, збільшується коефіцієнт наповнення ковша і скорочується час простоїв, пов'язаних з необхідністю періодичного очищення цих поверхонь. Загалом це дозволяє на 10-20% підвищити продуктивність екскаваторів при розробці липких ґрунтів.

Мета винаходу [8] - зменшення опору копанню та підвищення надійності роботи ковша.

Зазначена мета досягається тим, що в ковші екскаватора, що включає днище, бічні та задню стінки і виконану у вигляді лотка, з'єднаного з торцями бічних стінок за допомогою передніх і задніх клинових з'єднань, передню стінку, кожне з клинових з'єднань виконано з поперечного паза в бічній частині передньої стінки

та розміщеного в пазу виступу бокової стінки ковша. У стінках кожного паза та у відповідному виступі виконані поздовжні передньої стінки отвори для розміщення в них клина. Потовщена частина кожного з клинів спрямована у бік зіва ковша, а сполучені кромки бічних стінок і передньої стінки мають елементи, що центрують їх в поздовжньому напрямку. Центруючі елементи виконані у вигляді регулювальних прокладок, розміщених між виступом кожного із задніх клинових з'єднань та задньою стінкою відповідного паза. Центруючі елементи виконані у вигляді розташованих з можливістю прилягання один до одного похилих ділянок поверхонь паза і відповідного виступу кожного з передніх клинових з'єднань, при цьому центрують елементи виконані у вигляді розташованих з можливістю прилягання один одному похилих ділянок поверхонь передньої стінки паза кожного з передніх клинових з'єднань та відповідного виступу та поверхні задньої стінки паза кожного із задніх клинових з'єднань та відповідного виступу.



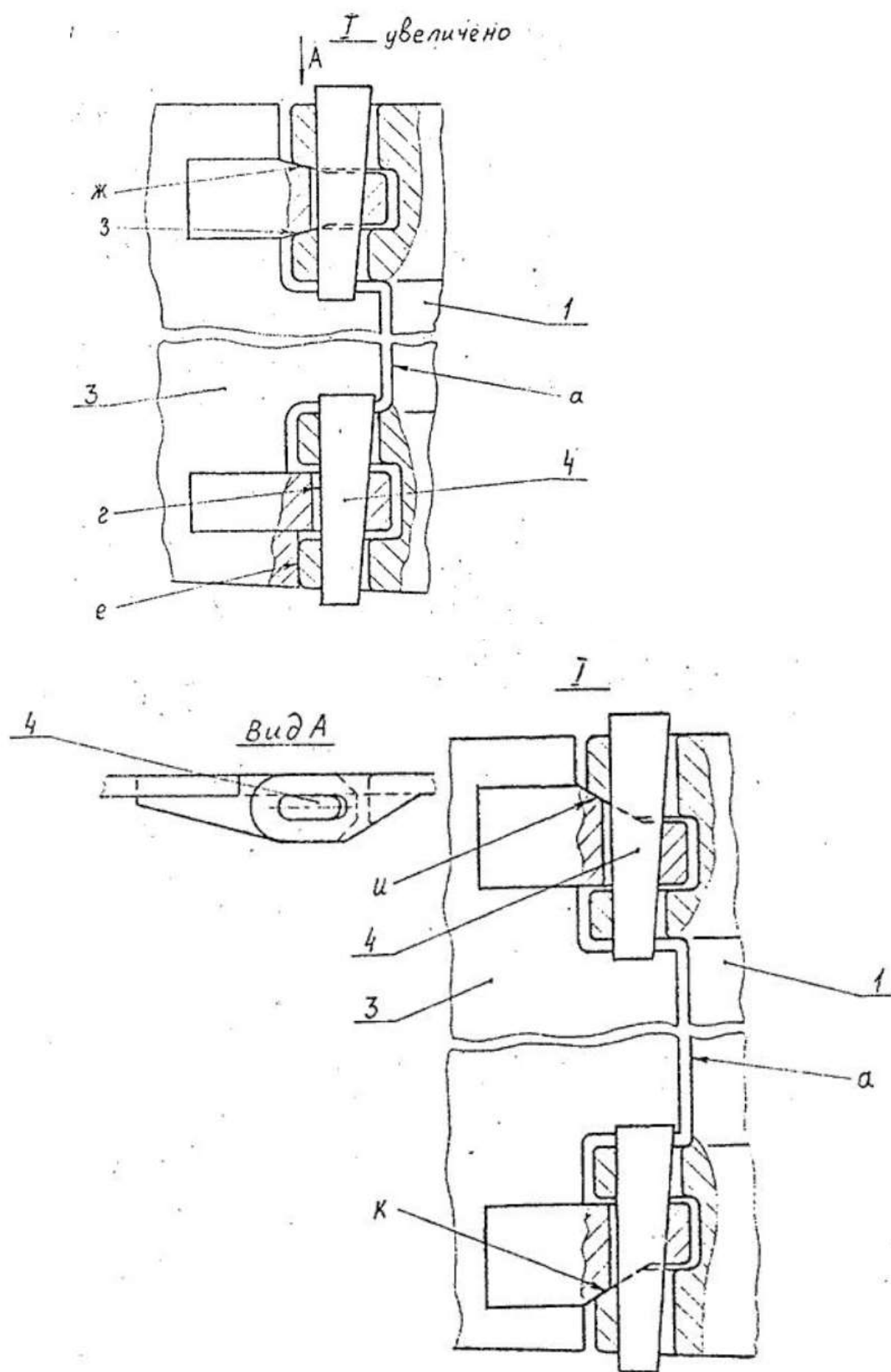


Рис 2.8 – До патенту [8]

Ківш канатного екскаватора містить передню стінку 1 і задню стінку 2 з розташованими між ними двома бічними стінками 3. Передня стінка виконана у вигляді лотка і є знімною. Кожна з бічних поверхонь, а її з'єднана з відповідною бічною стінкою 3 за допомогою двох клинових з'єднань. Кожне з клинових з'єднань (переднє, розташоване з боку зіва ковша і заднє, розташоване з боку днища) виконано з поперечного паза в бічній частині передньої стінки і з розміщеного в пазу виступу бічної стінки ковша, при цьому в стінках кожного паза і у відповідному виступі виконані поздовжні передньої стінки отвору для розміщення в них клина 4, потовщена частина якого направлена в бік зіва ковша. Клин виконаний з ухилом 1:25-1:30, що забезпечує значний запас самогальмування та не потрібно надмірних зусиль при його вибиванні. Переднє клинове з'єднання (див. фіг. 1), зібране без зазору по 1 верхній поверхні б контакту передньої стінки 1 з бічною стінкою 3. Нижній зазор нижнього клинового з'єднання обраний за допомогою набору регулювальних прокладок 5, в напрямку перпендикулярному вертикальній стороні г клина 4 контакт передньої стінки з бічними стінками здійснюється по поверхнях д і е. У другому варіанті з'єднання кожної бічної поверхні а передньої стінки 1 з відповідним-1 вуючим торцем бічної стінки 3 переднє клинове з'єднання виконано з поєднанням контактуючих поверхонь стінки 1 і бічної стінки 3 по похилим поверхням ж і з, У напрямку 1 перпендикулярному вертикальній стороні г клину 4 контакт передньої стінки з бічними стінками здійснюється по поверхнях е. У третьому варіанті з'єднання кожної бічної поверхні а передньої стінки 1 з відповідною бічною стінкою 3 місце сполучення контактуючих поверхонь передньої стінки і бічної стінки виконано у вигляді двох наклонних поверхонь, одна з яких розташована в передній, а інша до - в задньому клиновому з'єднанні.

Робота ковша полягає у наступному.

При досягненні передньої стінки 1 ковша граничного зносу необхідно вибити чотири клини 4, потім на місце старої встановити нову передню стінку і знову забити клини 4. Ця робота може бути проведена безпосередньо в розрізі без від'єднання ковша від рукояті.

2.3. Дослідження заповнення ківшу залежно від гранулометричного складу породи

Метою дослідження є визначення залежності між коефіцієнтом заповнення ківшу та співвідношенням розмірів ківшу та гранулометричним складом породи, що вантажиться.

Сталі величини:

- фізико-механічні властивості гірської породи:
- щільність породи у ціліку, $\gamma = 3250 \text{ т/м}^3$;
- модуль Юнга $E = 3 \cdot 10^{10} \text{ Па}$;
- коефіцієнт Пуасона $\mu = 0,3$.

Варійовані чинники:

- об'єм кубічного ківшу, що відповідає параметрам основних екскаваторів, що серійно випускаються: 8 м^3 , 10 м^3 , 12 м^3 ;
- гранулометричний склад породи;

Розглянемо шляхи, як зручніше охарактеризувати гранулометричний склад породи. Серед усіх відомих математичних способів найзручнішим є використання рівняння, запропоноване Розіним і Раммлером, оскільки, як показала обробка великої кількості гранулометричних аналізів продуктів подрібнення, це рівняння у багатьох випадках дає кращу відповідність дослідним даним [18]

$$R = 100 \cdot e^{-b \cdot x^n}; \quad (2.6)$$

де R – натуральний логарифм від сумарного виходу класу більший за x , за мінусом, %; x – розмір отворів сита; b , n – параметри, що залежать від властивостей матеріалу та розмірності x , які визначалися наступним чином:

$$n = \frac{\lg \cdot \lg \frac{100}{R_1} - \lg \cdot \lg \frac{100}{R_2}}{\lg x_1 - \lg x_2}; \quad b = \frac{\lg \frac{100}{R_1}}{x_1^n \cdot \lg e}, \quad (2.7)$$

де x_1 , x_2 – відповідно крупність двох класів; R_1 , R_2 - відповідно сумарний вихід класу x_1 , x_2 мінус.

За допомогою ПКА MathCAD розробимо відповідну модель кумулятивного вмісту матеріалу різної крупності. Для цього використаємо дані наступні дані: - для дрібного гранскладу рис 1,13, для середнього гранскладу - на рис 1.10, для крупного грансклау – на рис 1.11.

Дрібний грансклад

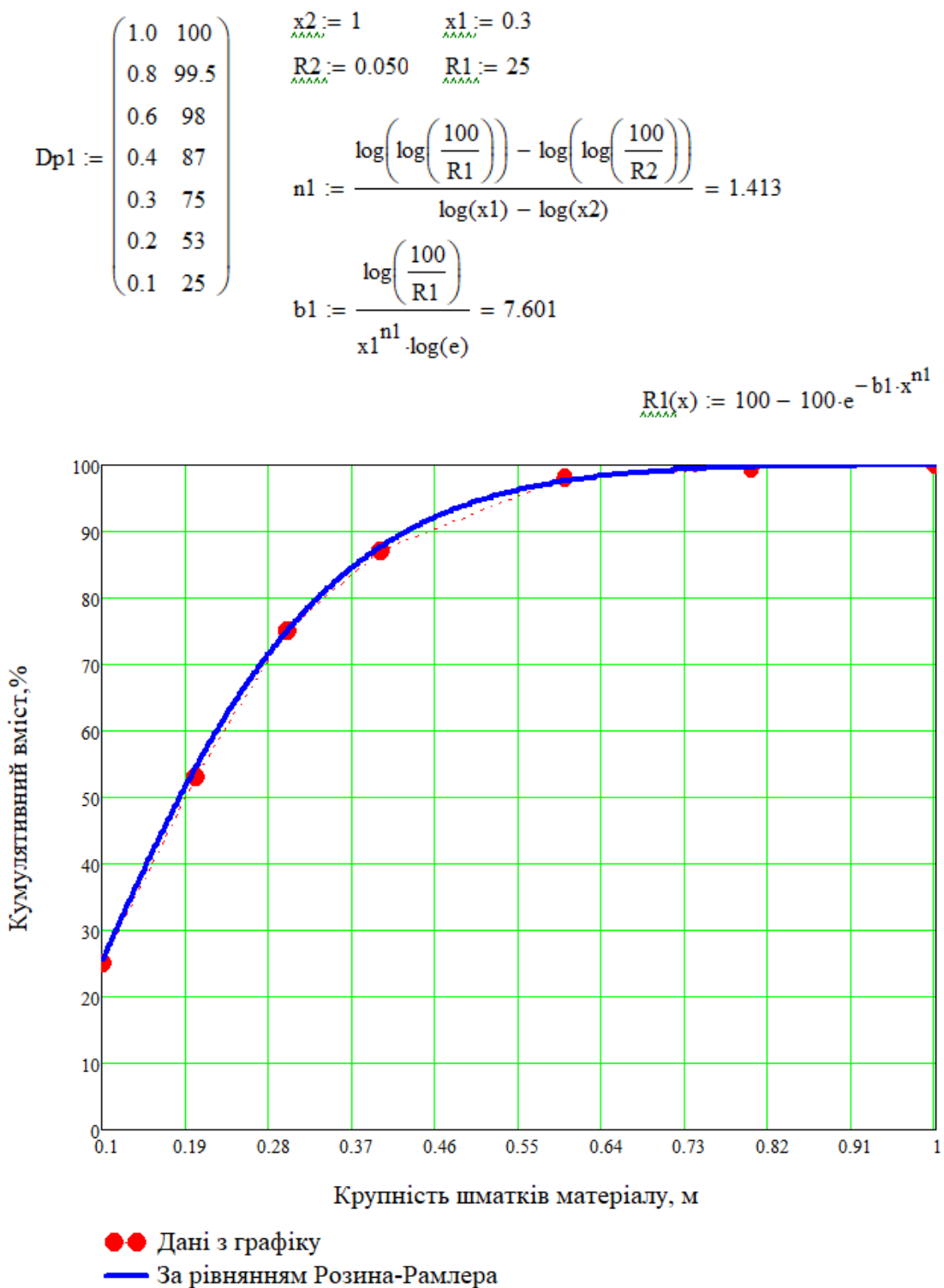


Рис 2.9 – Кумулятивна крива гранскладу дрібної гірської маси

Середній грансклад

$$D_{p2} := \begin{pmatrix} 1.4 & 100 \\ 1.2 & 97 \\ 1 & 91 \\ 0.8 & 78 \\ 0.6 & 58 \\ 0.4 & 32 \\ 0.2 & 9 \\ 0.1 & 2 \end{pmatrix}$$

$$x2 := 1.4 \quad x1 := 0.8$$

$$R2 := 0.7 \quad R1 := 20$$

$$n2 := \frac{\log\left(\log\left(\frac{100}{R1}\right)\right) - \log\left(\log\left(\frac{100}{R2}\right)\right)}{\log(x1) - \log(x2)} = 2.012$$

$$b2 := \frac{\log\left(\frac{100}{R1}\right)}{x1^{n2} \cdot \log(e)} = 2.521$$

$$R2(x) := 100 - 100 \cdot e^{-b2 \cdot x^{n2}}$$

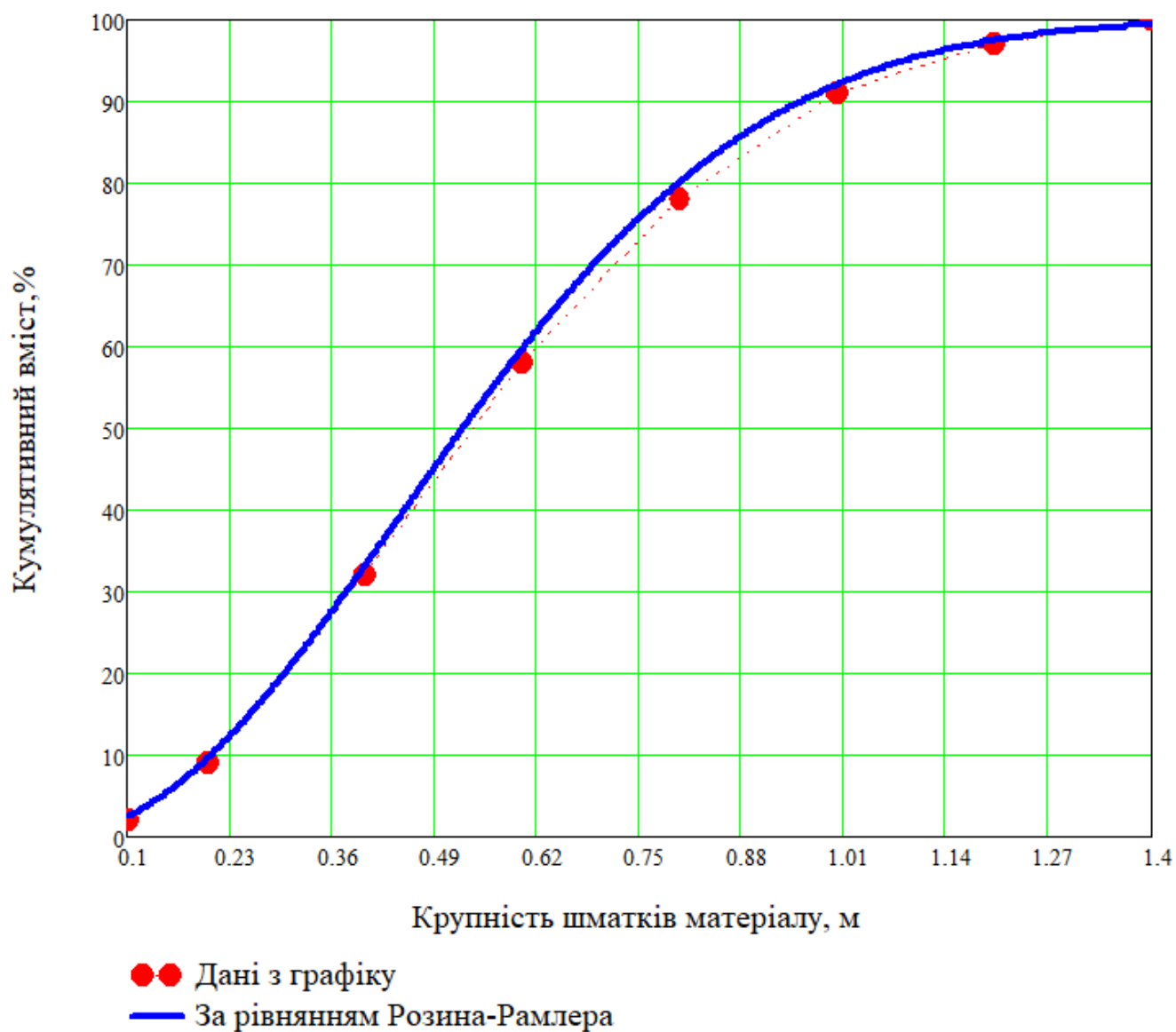


Рис 2.10 – Кумулятивна крива гранскладу середньої за крупністю гірської маси

Крупний грансклад

$$D_{p3} := \begin{pmatrix} 1.6 & 100 \\ 1.4 & 99.5 \\ 1.2 & 97.5 \\ 1 & 95 \\ 0.8 & 87 \\ 0.5 & 68 \\ 0.2 & 29 \\ 0.1 & 12 \end{pmatrix}$$

$$x_2 := 1.6 \quad x_1 := 0.8$$

$$R_2 := 0.50 \quad R_1 := 12$$

$$n_3 := \frac{\log\left(\log\left(\frac{100}{R_1}\right)\right) - \log\left(\log\left(\frac{100}{R_2}\right)\right)}{\log(x_1) - \log(x_2)} = 1.321$$

$$b_3 := \frac{\log\left(\frac{100}{R_1}\right)}{x_1^{n_3} \cdot \log(e)} = 2.847$$

$$R_3(x) := 100 - 100 \cdot e^{-b_3 \cdot x^{n_3}}$$

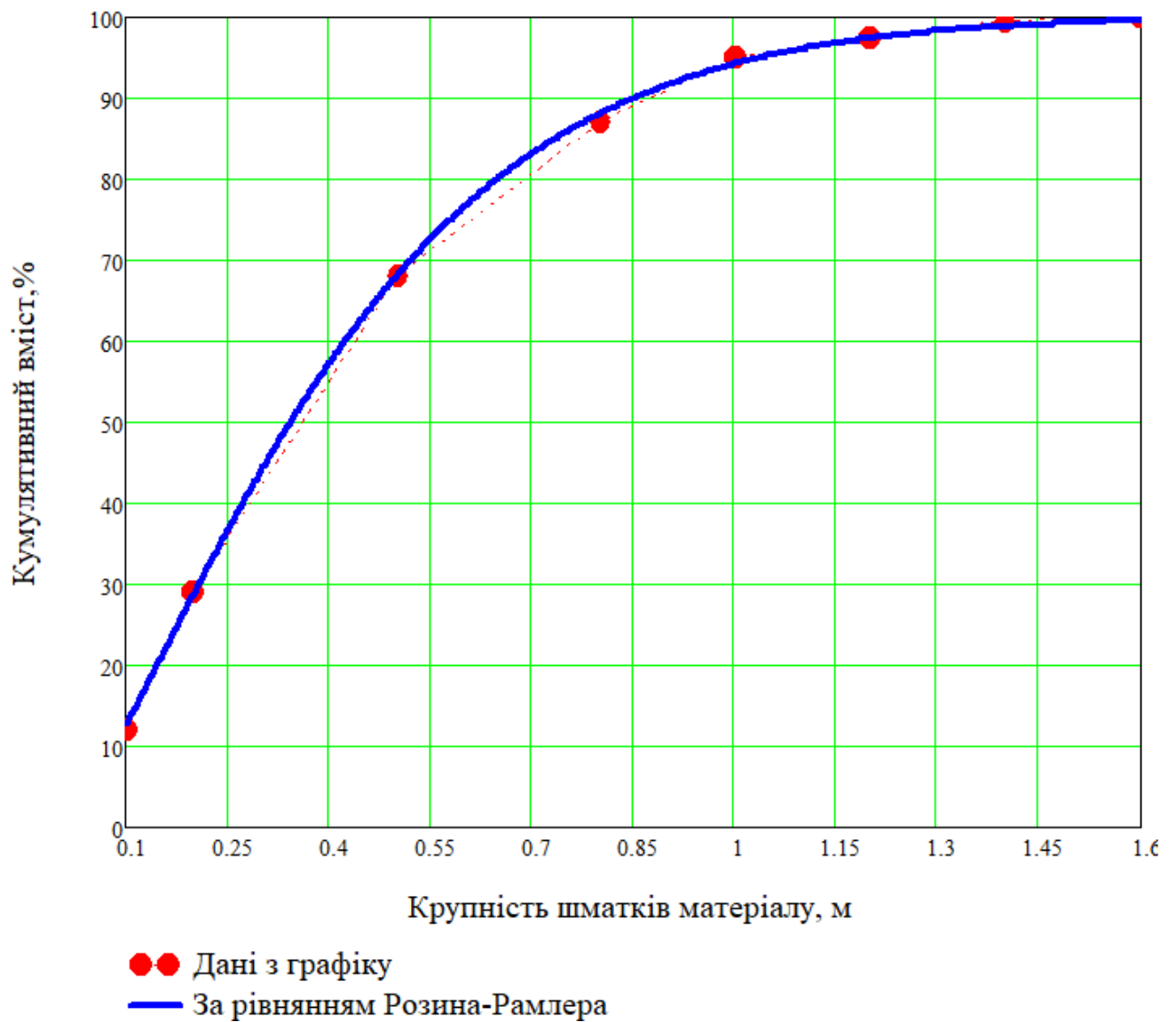


Рис 2.11 - Кумулятивна крива гранскладу крупної гірської маси

Таким чином, грансклад породи визначається 2 параметрами n і b .

Функції відгуку:

- маса завантаженої породи у ківші, кг;
- об'єм породи, завантажений у ківш, m^3 ;

Таким чином, є 2 фактори 3 трьома рівнями варіювання, отже матриця планування експерименту буде містити 9 дослідів.

Таблиця 2.1 – Матриця планування експерименту

№	Місткість ківшу, m^3	Грансклад	Маса, кг	Об'єм, що завантажено, m^3
1	8	3(крупний)		
2	8	2 (середній)		
3	8	1 (дрібний)		
4	10	3(крупний)		
5	10	2 (середній)		
6	10	1 (дрібний)		
7	12	3(крупний)		
8	12	2 (середній)		
9	12	1 (дрібний)		

Обмеження та спрощення DEM –методу:

1. Обмежена кількість часток у розрахунку (якомога менша кількість)
2. Мінімальна кількість граней у часток (ідеальною є сфера)
3. Мінімальна інтенсивність процесу (мінімально можливі швидкості руху)
4. За можливості не використовувати функції зношення, адгезії і дроблення
5. За можливості відмовитися від використання CFD-модуля, що розраховує рух у трифазному середовищі

Обмеження та спрощення, прийняті у розрахунковій моделі:

1. Відсікання нижньої частина гранулометричного складу породи, що подрібнюється – розраховуються тільки крупні частинки;
2. У моделі кулі і порода має форму сфери;
3. За можливості не використовувати функції зношення, адгезії і дроблення
4. Використання сухого процесу подрібнення

5. Використання періодичних границь – розрахунок майже плоского перетину млина

Корпус ківшу будуємо умовно у вигляді кубу зі сторонами, що забезпечать відповідний об'єм, а саме: для 8 м^3 довжина сторони куба 2 м; для 10 м^3 – 2,154 м; для 12 м^3 – 2,289 м.

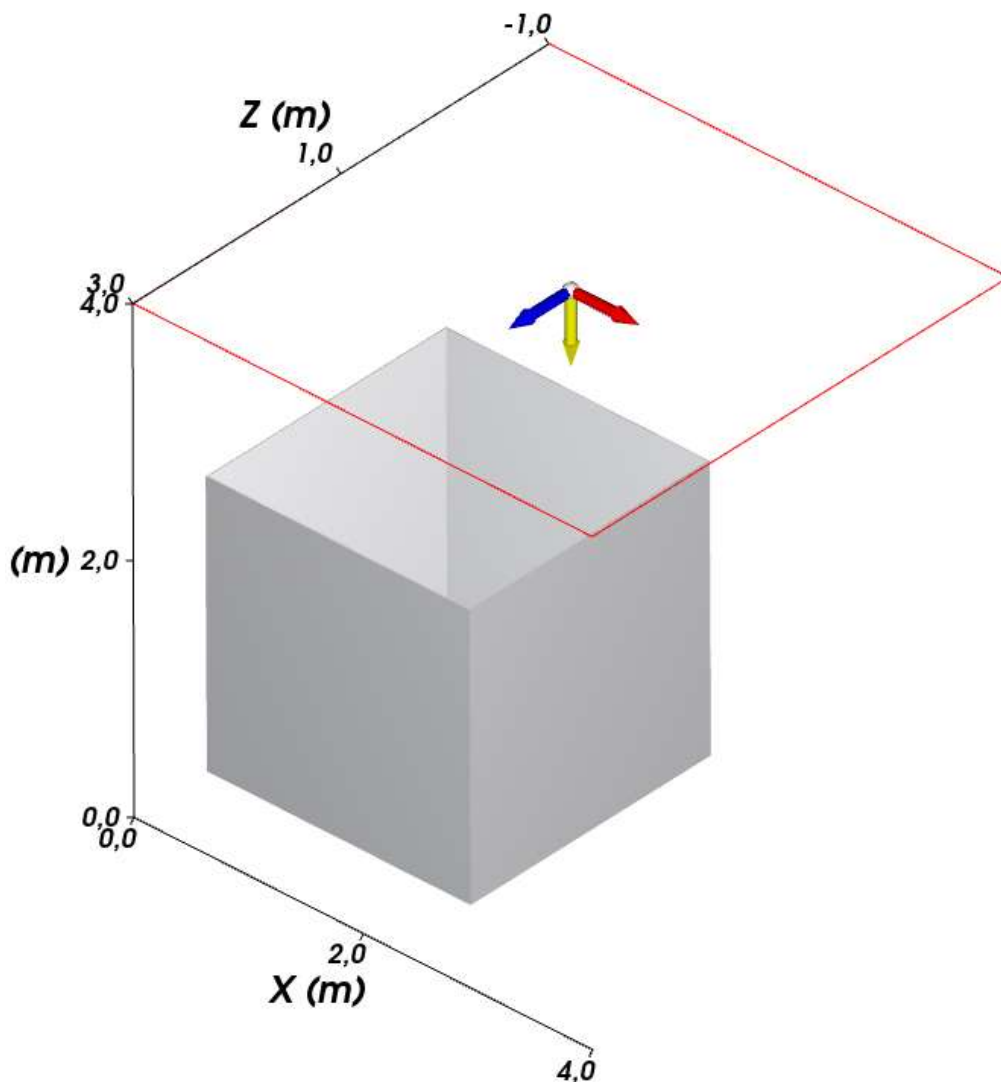


Рис 2.12- Приклад моделі ківшу 12 м^3

Послідовність створення нового проекту у Rocky DEM simulation

1. У розділі Physics встановлюються загальні константи такі, як прискорення вільного падіння та ін. За проектом моделювання роботи млина ніяких змін у цьому розділі не робимо.
2. У розділі Modules визначається параметри збирання статистичних даних про зіткнення тіл у моделі.

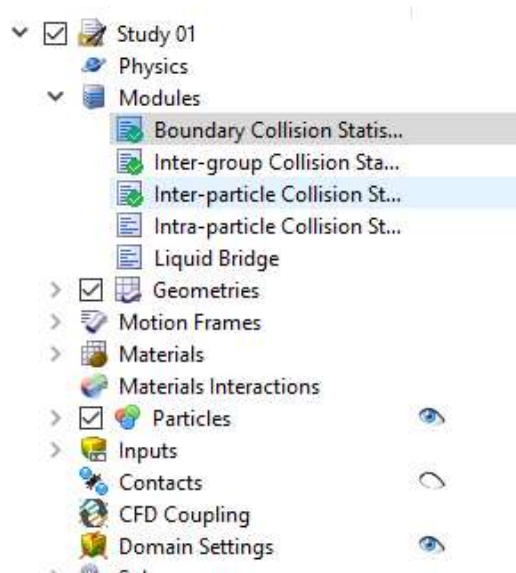


Рис 2.13 - Розділ Modules

Встановлюємо відмітки про збирання даних про зіткнення часток з границями, зіткнення груп часток і зіткнення часток між собою

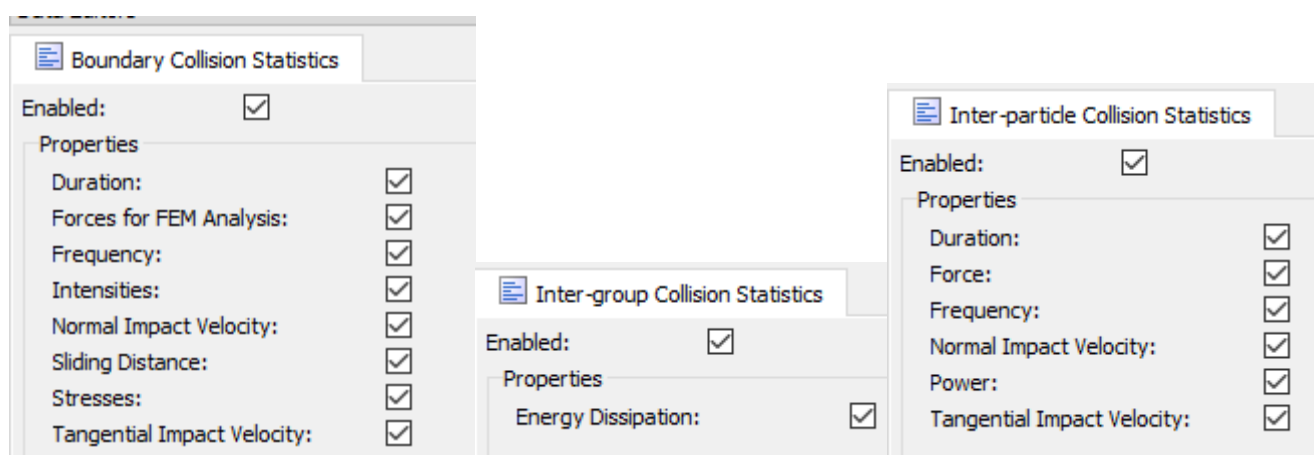


Рис 2.14 - Розділ Modules

3. Розділ Geometries визначає геометрію моделі. Тут завантажується модель ківшу. Модель будується у SolidWorks та зберігається у форматі STL.
4. У розділі Motion Frames задаються параметри руху. У нас модель нерухома, отже цей розділ не змінюємо.
5. У розділі Materials визначаються матеріали тіл, що будуть використовуватися у моделі. Визначаємо матеріал гірської породи, що падає у ківш.

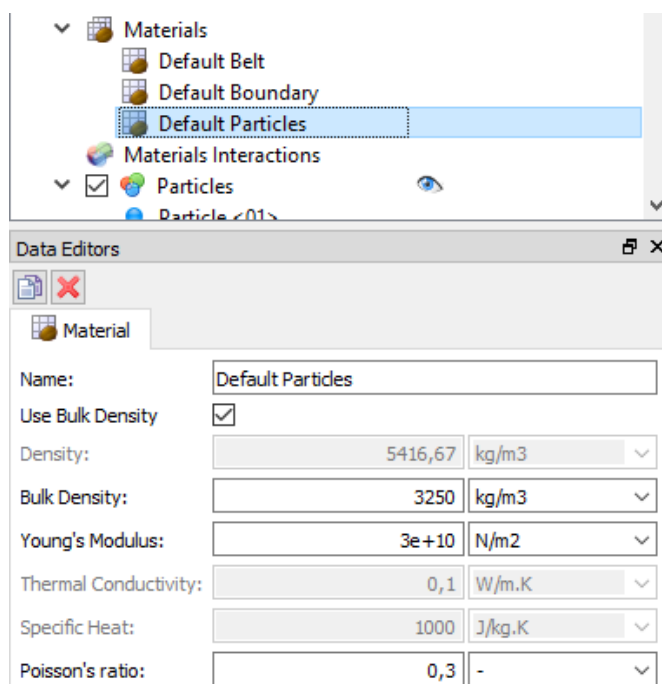


Рис 2.15 - Розділ Materials

6. У розділі Particles задаються частинки, які будуть використовуватися у моделі. У моделі використовуються частинки породи, що мають форму – polyhedron з розмірами від 1,6 м до 0,1 м залежно від дослідів і гранскладу, що у ньому використовується.

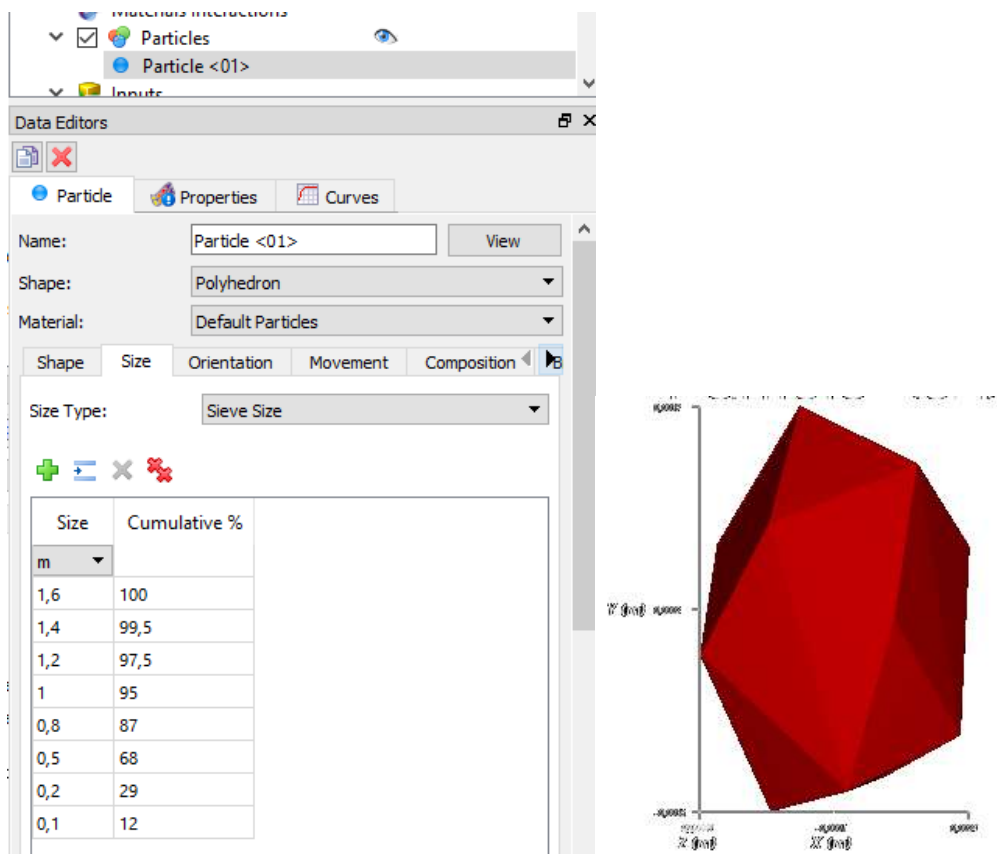


Рис 2.16 - Розділ Particles. Породи

7. У розділ Inputs визначаємо скільки і якого матеріалу буде завантажено у ківш

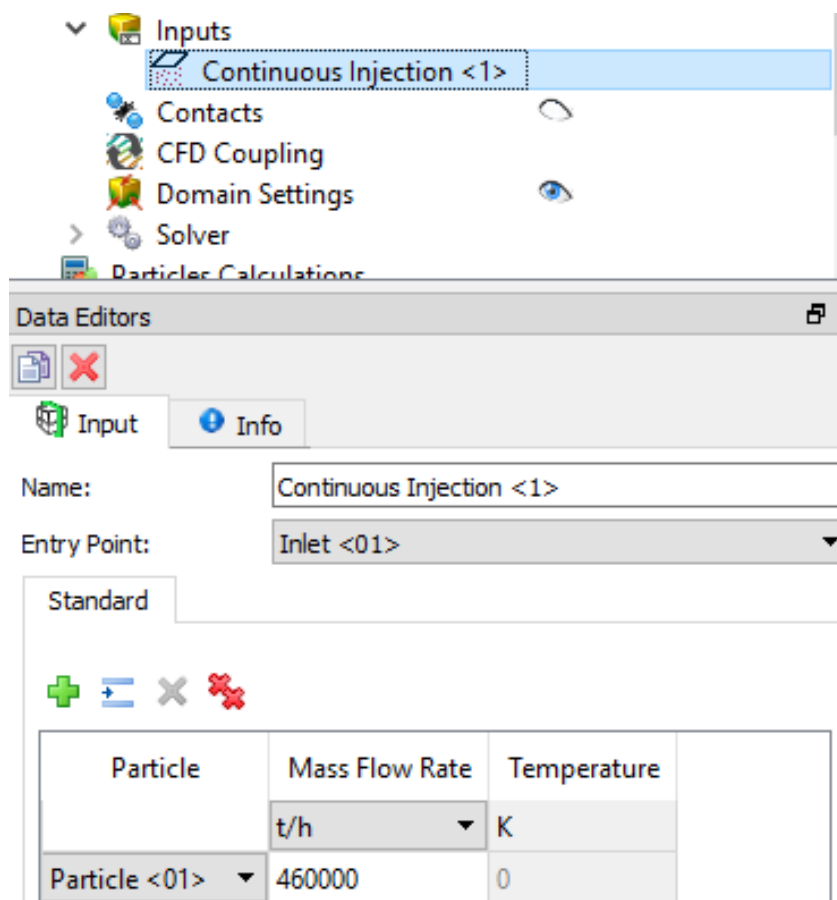


Рис 2.17 - Розділ Inputs

8. Для контролю заповнення ківшу створюємо контрольну зону, у який будемо підраховувати кількість часток різного розміру. Для зони встановлюємо тип контрольних даних – об’єм та маса часток, а результат отримаємо у вигляді діаграми.

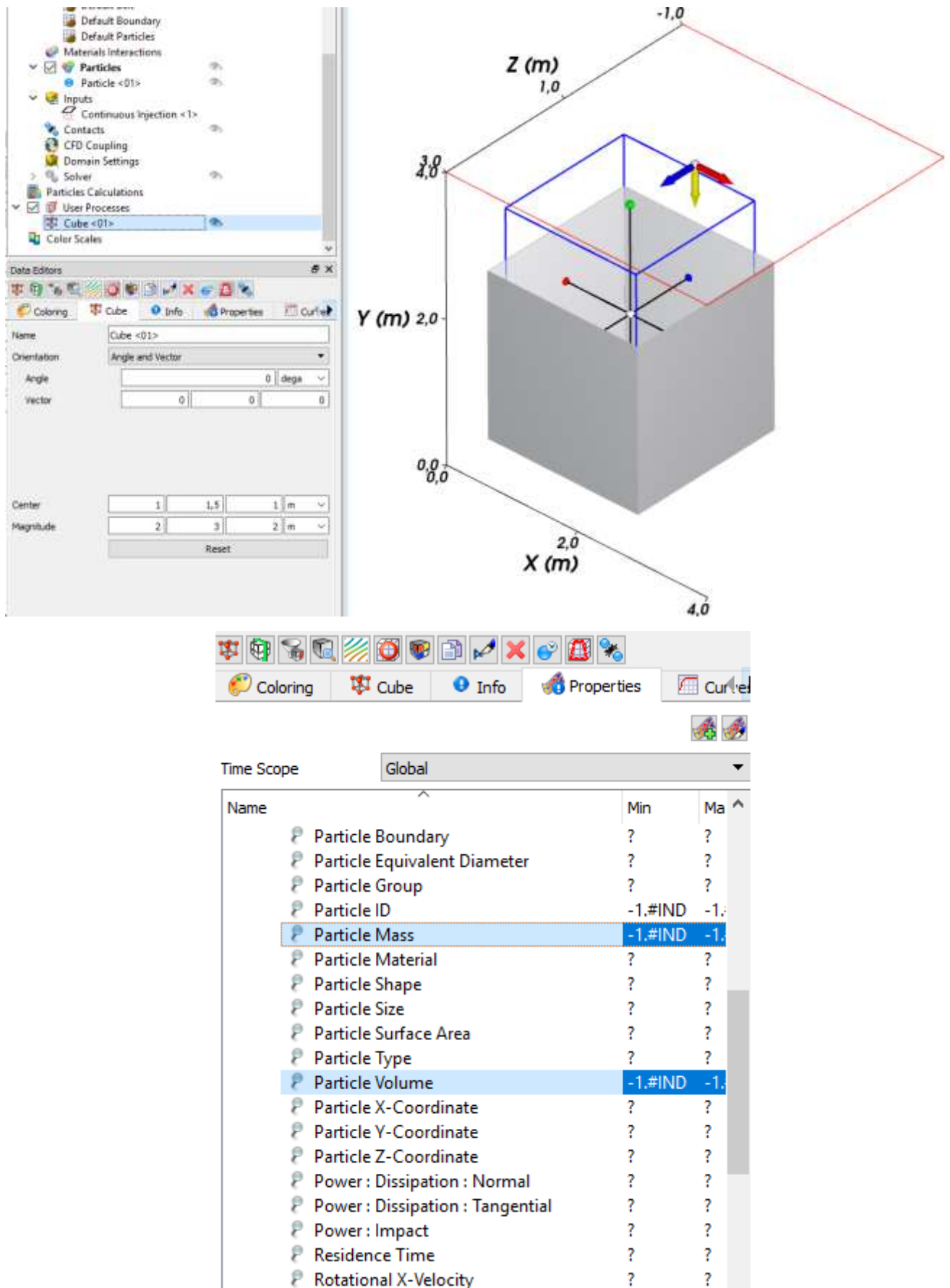


Рис 2.18 – Результати розрахунку

9. У розділі Solver визначаємо час розрахунку 3 с., та кількість кадрів за секунду – 33.3.

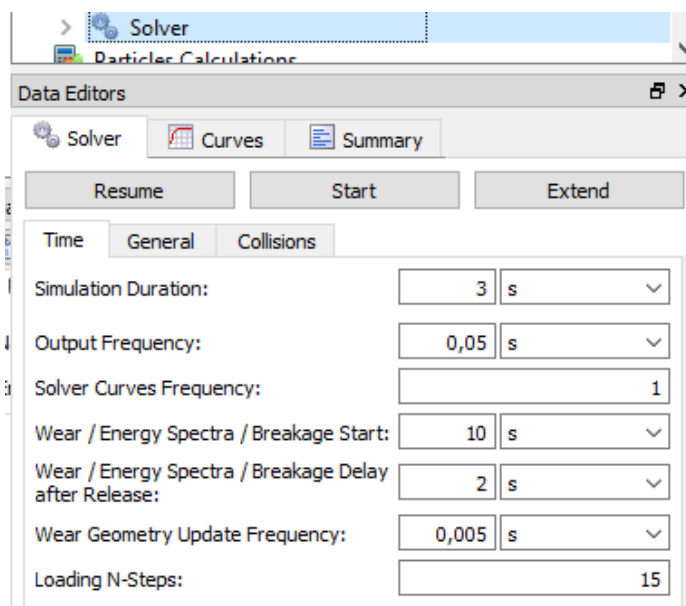


Рис 2.19 - Розділ Solver

У результаті розрахунку для кожного дослідів записується об'єм породи, що завантажено у ківш (рис 2.20)

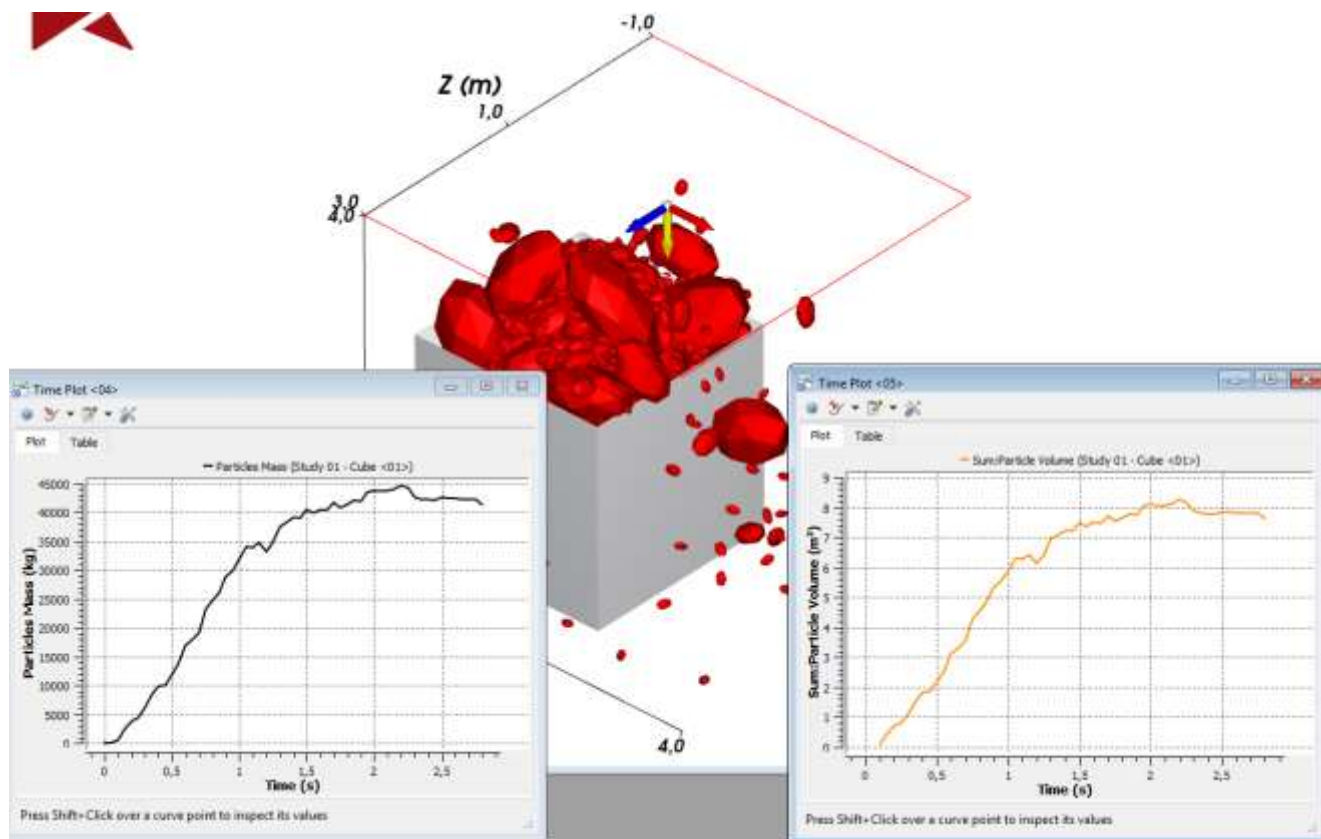


Рис 2.20 – Результати розрахунку

Результати дослідження наведені у табл 2.2 та на графіку (рис 2.21).

Слід зазначити, що оскільки грасклад породи був фактором якісного характеру, тобто характеризувався словами, то його було замінено на фактор кількісного характеру, тобто кожному вихначенню гарнскладу був доданий певний коефіцієнт:

- Дрібна порода – 1;
- Середня порода – 2;
- Крупна порода – 3.

Таблиця 2.2 – Результати дослідження

№	Місткість ківшу, м ³	Грансклад	Об'єм, що завантажено, м ³
1	8	3(крупний)	5,57
2	8	2 (середній)	5,75
3	8	1 (дрібний)	5,94
4	10	3(крупний)	6,65
5	10	2 (середній)	6,97
6	10	1 (дрібний)	7,21
7	12	3(крупний)	7,8
8	12	2 (середній)	8,25
9	12	1 (дрібний)	8,7

Обробки результатів дослідження. Попередній аналіз отриманих даних (табл 2.2, рис 2.21) дає змогу сказати, що залежність має здебільшого слабо нелінійний характер. Але для отримання залежності у зручній формі потребують проведення математичної обробки.

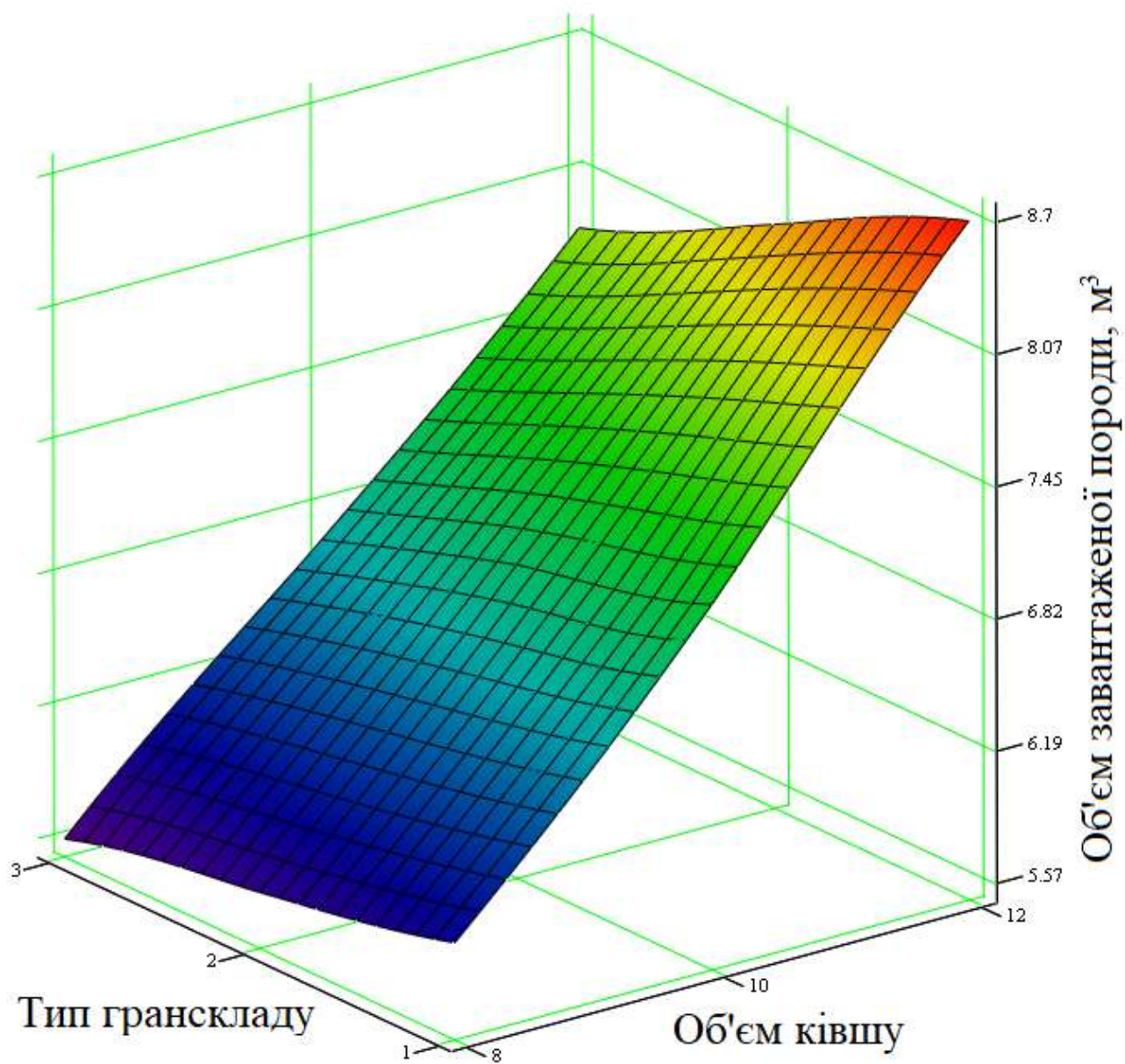


Рис 2.21 – Залежність об'єму завантаженої породи у ківші від його об'єму та типу гранскладу породи

Для цього перейдемо до відносних величин, а саме:

- відносний об'єм

$$\Delta V = \frac{V_p}{V} \quad (2.8)$$

де V_p – об'єм звантаженої породи, отриманий у результаті дослідження, V – номінальний об'єм ківшу

Отже, переведемо отримані дані у відносні величини (рис 2.22).

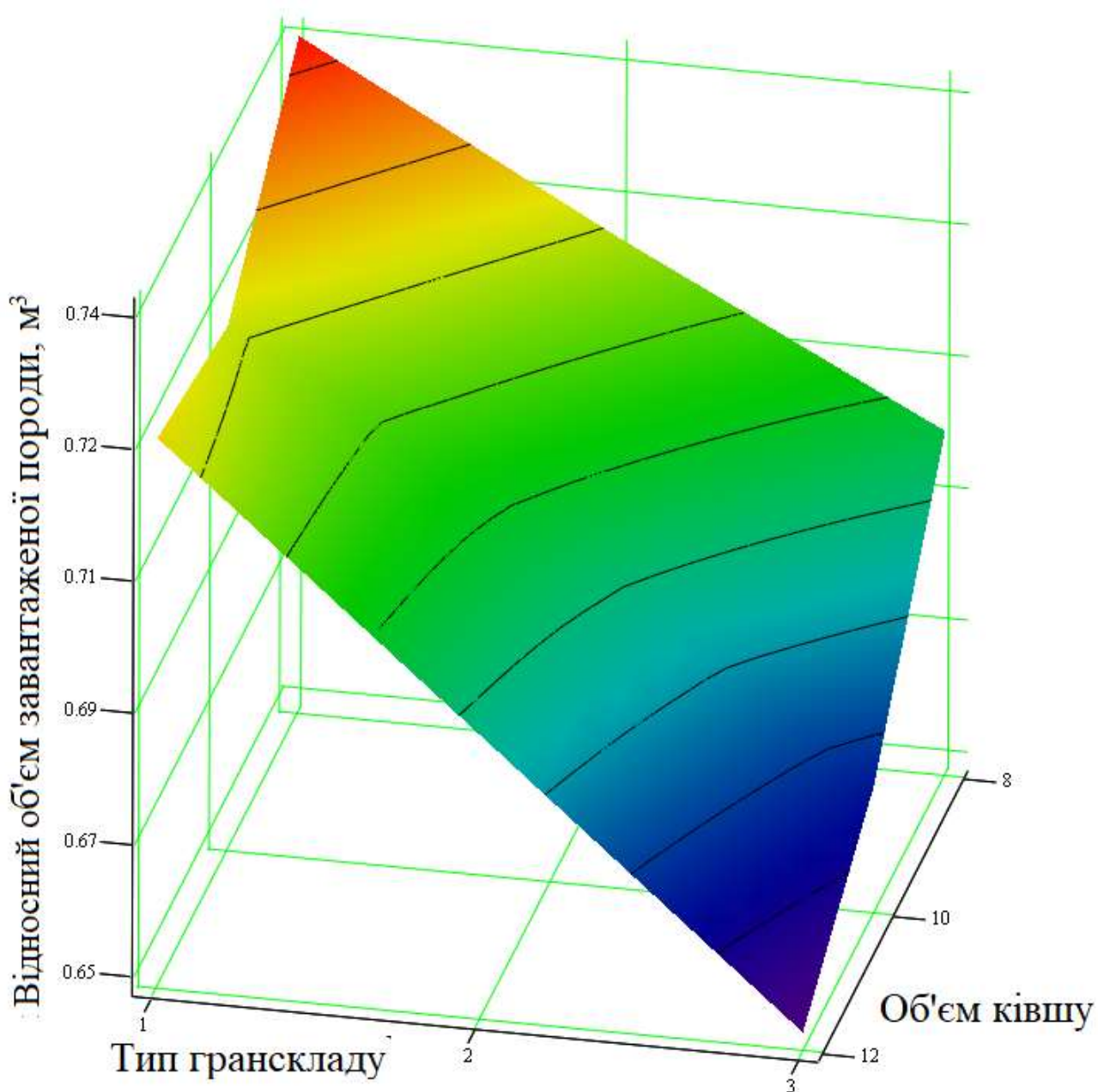


Рис 2.22 – Залежність відносного об'єму завантаженої породи у ківш від його об'єму та типу гранскладу породи

Розглядаючи отримані дані у відносній формі, встановлено, що в усіх випадках ківш недовантажений на 27% -35%. Причому при застосування дрібнішого гранскладу менший ківш заповнюється краще (заповнення складає 74 % від номінального об'єму), а при застосування крупного гранскладу і більшого ківшу, він заповнюється гірше (заповнення складає 65 % від номінального об'єму).

Скористаємося методом найменших квадратів, щоб отримати лінійну залежність.

$$\begin{array}{l}
 \text{V} \quad \text{n} \quad \text{b} \quad \text{Vp} \\
 \text{MV} := \begin{pmatrix} 8 & 1.413 & 7.601 & 5.943302 \\ 8 & 1.368 & 5.224 & 5.748748 \\ 8 & 1.321 & 2.847 & 5.568019 \\ 10 & 1.413 & 7.601 & 7.21458 \\ 10 & 1.368 & 5.224 & 6.969 \\ 10 & 1.321 & 2.847 & 6.654131 \\ 12 & 1.413 & 7.601 & 8.7 \\ 12 & 1.368 & 5.224 & 8.25 \\ 12 & 1.321 & 2.847 & 7.8 \end{pmatrix} \\
 i := 0..8 \\
 \text{Mx}^{\langle 0 \rangle} := \text{MV}^{\langle 0 \rangle} \\
 \text{Mx}^{\langle 1 \rangle} := \text{MV}^{\langle 1 \rangle} \\
 \text{Mx}^{\langle 2 \rangle} := \text{MV}^{\langle 2 \rangle} \\
 \text{My}_{i,0} := \frac{\text{MV}_{i,3}}{\text{MV}_{i,0}} \quad \text{My} = \begin{pmatrix} 0.743 \\ 0.719 \\ 0.696 \\ 0.721 \\ 0.697 \\ 0.665 \\ 0.725 \\ 0.688 \\ 0.65 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

Given

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{da0} \left[\sum_{i=0}^8 \left(\text{My}_i - a0 - a1 \cdot \text{Mx}_{i,0} - a2 \cdot \text{Mx}_{i,1} - a3 \cdot \text{Mx}_{i,2} \right)^2 \right] &= 0 \\
 \frac{d}{da1} \left[\sum_{i=0}^8 \left(\text{My}_i - a0 - a1 \cdot \text{Mx}_{i,0} - a2 \cdot \text{Mx}_{i,1} - a3 \cdot \text{Mx}_{i,2} \right)^2 \right] &= 0 \\
 \frac{d}{da2} \left[\sum_{i=0}^8 \left(\text{My}_i - a0 - a1 \cdot \text{Mx}_{i,0} - a2 \cdot \text{Mx}_{i,1} - a3 \cdot \text{Mx}_{i,2} \right)^2 \right] &= 0 \\
 \frac{d}{da3} \left[\sum_{i=0}^8 \left(\text{My}_i - a0 - a1 \cdot \text{Mx}_{i,0} - a2 \cdot \text{Mx}_{i,1} - a3 \cdot \text{Mx}_{i,2} \right)^2 \right] &= 0
 \end{aligned}$$

$$\text{Find}(a_0, a_1, a_2, a_3) \rightarrow \begin{pmatrix} -0.38315874416456317487 \\ -0.0079173854166666666667 \\ 0.86679583333333333333 \\ -0.0042967588697237414107 \end{pmatrix}$$

$$dV(V, n, b) := -0.383 - 0.0079 \cdot V + 0.8668 \cdot n - 0.0043 \cdot b$$

$$\sum_{i=0}^8 \frac{|My_i - dV(Mx_{i,0}, Mx_{i,1}, Mx_{i,2})|}{My_i} = 0.071$$

Отримана лінійна математична залежність об'єму завантаженої породи у ківш від його об'єму та гранскладу гірської маси має похибку 7,1%, що є досить прийнятним для випадкового процесу.

Аналізуючи отриману залежність, можна зазначити суттєвий вплив якості розрихлення гірської маси вибухом.

Таким чином, вперше отримано лінійну залежність відносного об'єму заповнення ківшу від його номінального об'єму та гранскладу завантажуваної породи.

2.4. Дослідження занурення ківшу у породу з різними типами зубів

Виходячи з пропозиції, наведеної у патенті [6], дослідимо значення сили опору породи при зануренні у неї двох ківшів з різними зубами.

Метою дослідження є визначення сили опору породи при зануренні у неї ківшу залежно від геометрії зубів.

Сталі величини:

- фізико-механічні властивості гірської породи:
- щільність породи у ціліку, $\gamma = 3250 \text{ т/м}^3$;
- модуль Юнга $E = 3 \cdot 10^{10} \text{ Па}$;
- коефіцієнт Пуасона $\mu = 0,3$;

- об'єм кубічного ківшу 8 м^3 ;
- -гранулометричний склад породи використовуємо крупний (рис 2. 00) оскільки окремі шматки такої породи важитимуть більше і будуть чинити більший опір копанню;

Варійовані чинники:

- тип зубів, 10 м^3 , 12 м^3 ;

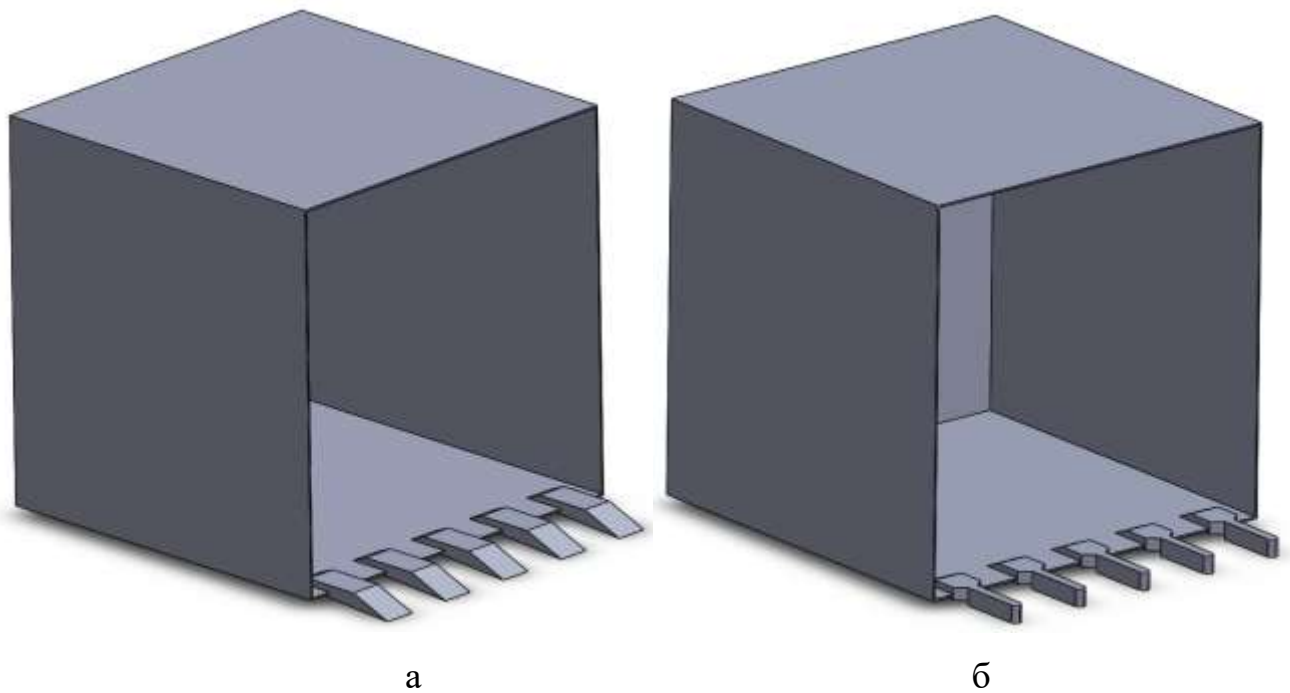


Рис 2.23 – Типи ківшів з різними зубами: а – базовий; б - пропонується

Функції відгуку:

- сила опору, Н;
- напруження у матеріалі ківшу, Па;

Додатково створюємо ємність для породи. Розрахункова модель наведена на рис 2.23

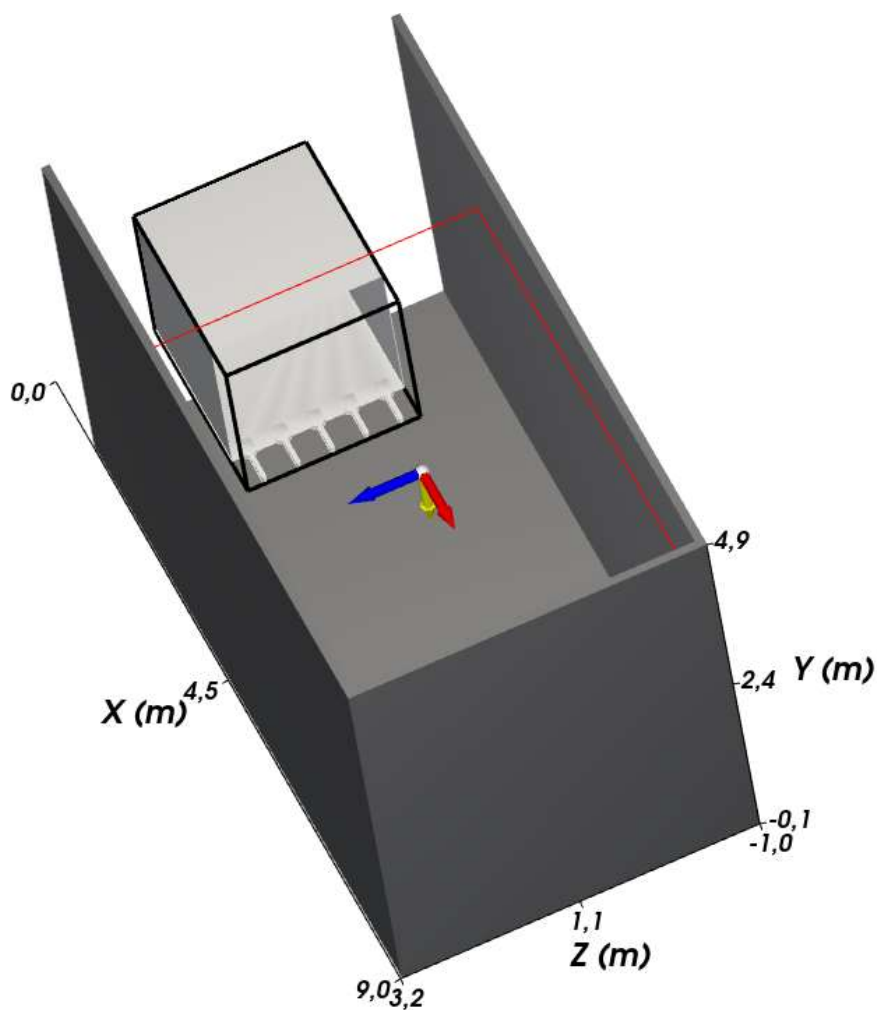


Рис 2.24 - Розрахункова модель

Послідовність створення нового проекту у Rocky DEM simulation

1. У розділі Physics встановлюються загальні константи такі, як прискорення вільного падіння та ін. За проектом моделювання роботи млина ніяких змін у цьому розділі не робимо.
2. У розділі Modules визначається параметри збирання статистичних даних про зіткнення тіл у моделі.

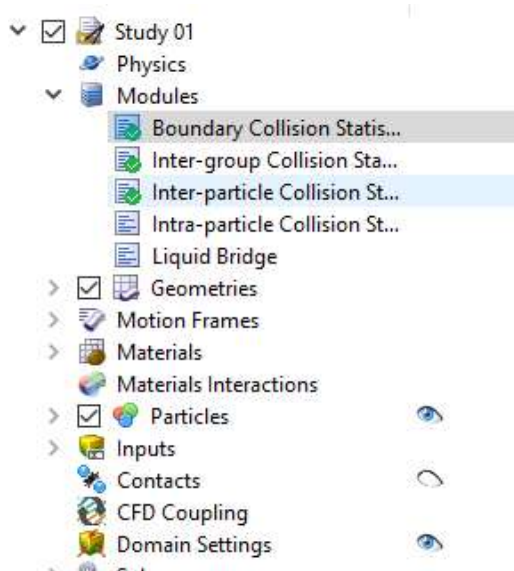


Рис 2.25 - Розділ Modules

Встановлюємо відмітки про збирання даних про зіткнення часток з границями, зіткнення груп часток і зіткнення часток між собою

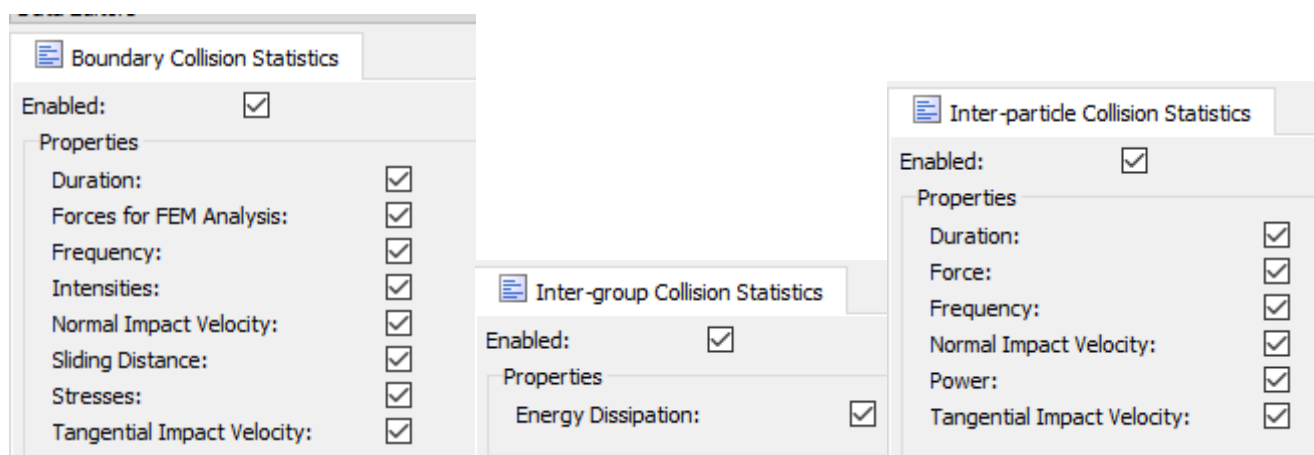


Рис 2.26 - Розділ Modules

3. Розділ Geometries визначає геометрію моделі. Тут завантажується модель ківшу та модель обмежуючих стінок. Моделі будуються у SolidWorks та зберігаються у форматі STL.

4. У розділі Motion Frames задаються параметри руху. Ківш рухається починаючи з 1 с уздовж обмежуючих стінок, загібаючи породу.

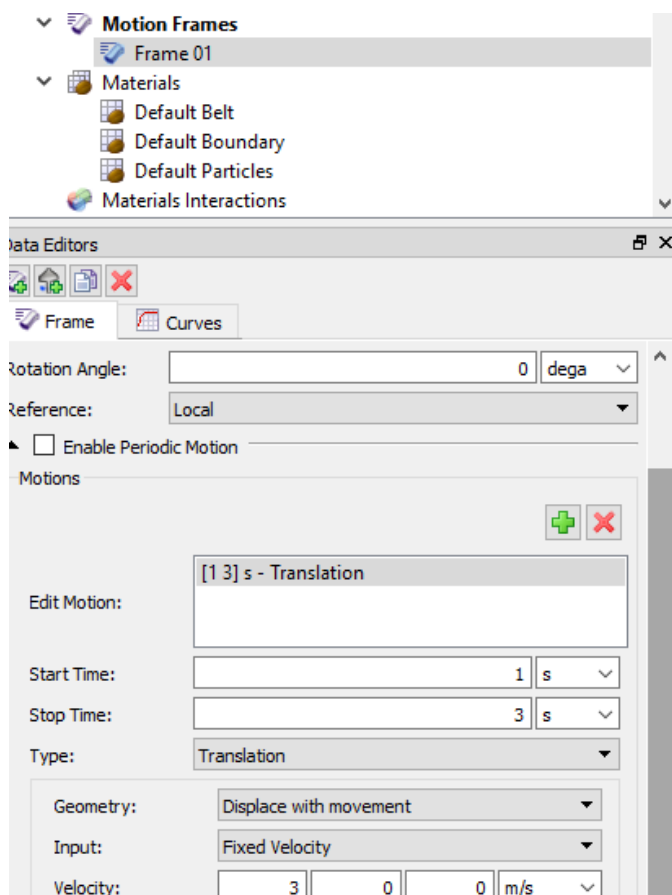


Рис 2.27 – Рух ківшу

5. У розділі Materials визначаються матеріали тіл, що будуть використовуватися у моделі. Визначаємо матеріал гірської породи, що падає у ківш.

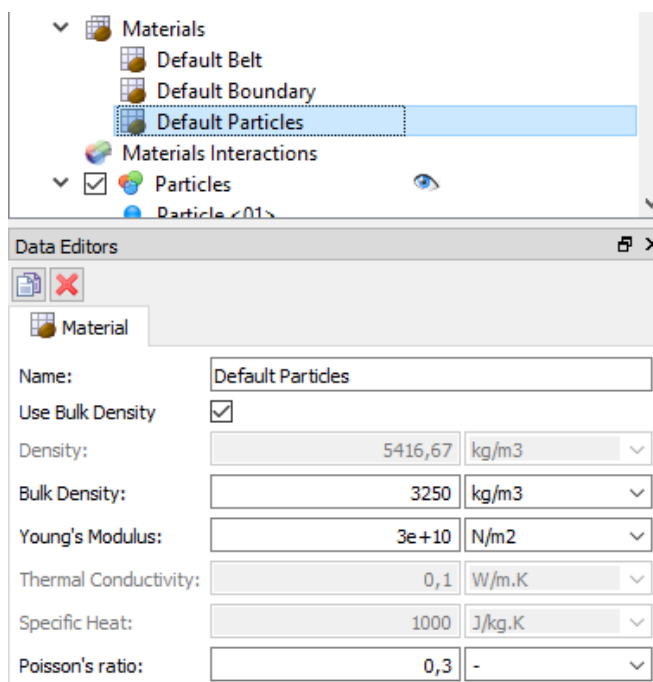


Рис 2.28 - Розділ Materials

6. У розділі Particles задаються частинки, які будуть використовуватися у моделі. У моделі використовуються частинки породи, що мають форму – polyhedron з розмірами від 1,6 м до 0,1 м залежно від дослідів і гранскладу, що у ньому використовується.

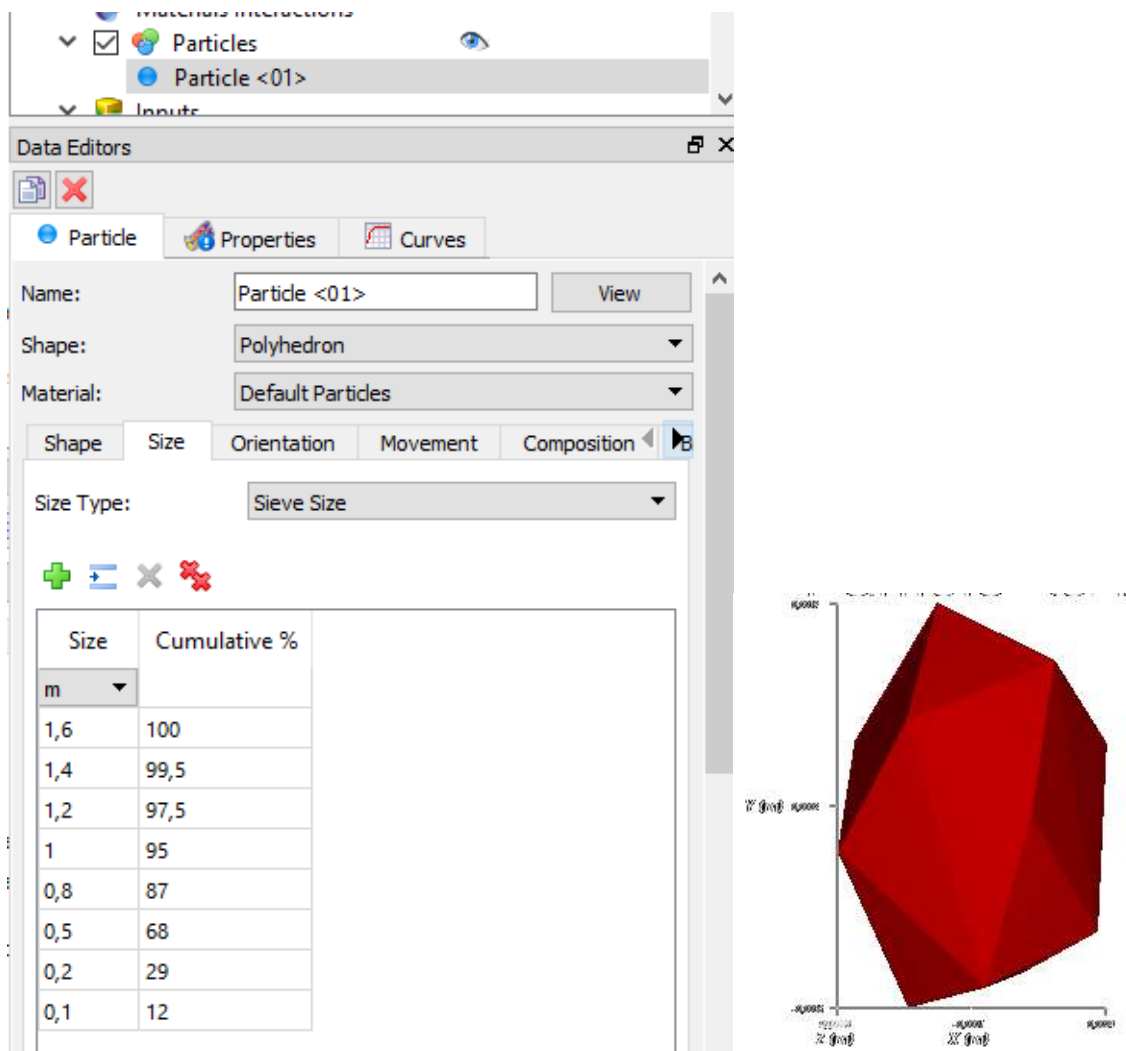


Рис 2.29 - Розділ Particles. Порода

7. У розділ Inputs визначаємо скільки і якого матеріалу буде насинано у модель

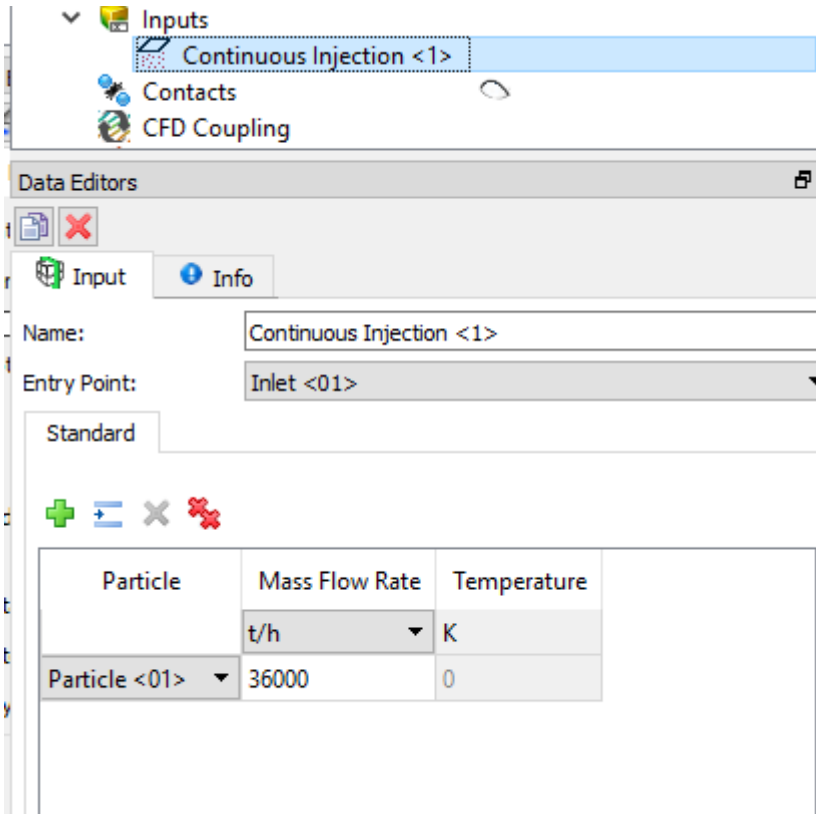


Рис 2.30 - Розділ Inputs

8. У розділі Solver визначаємо час розрахунку 3 с., та кількість кадрів за секунду – 33.3.

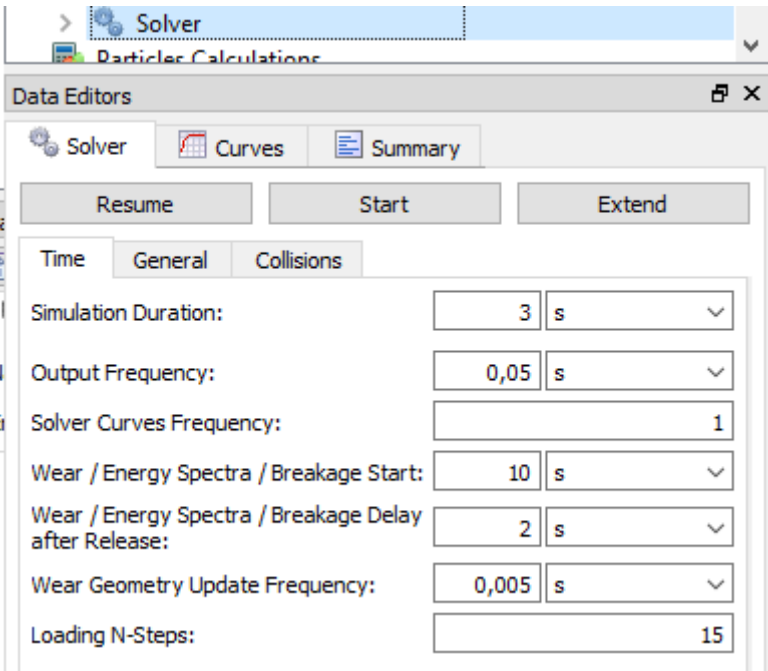


Рис 2.31 - Розділ Solver

У результаті розрахунку для кожного дослідження записується сила опору породи при зачерпуванні і напруження матеріалу ківшу. (рис 2.)

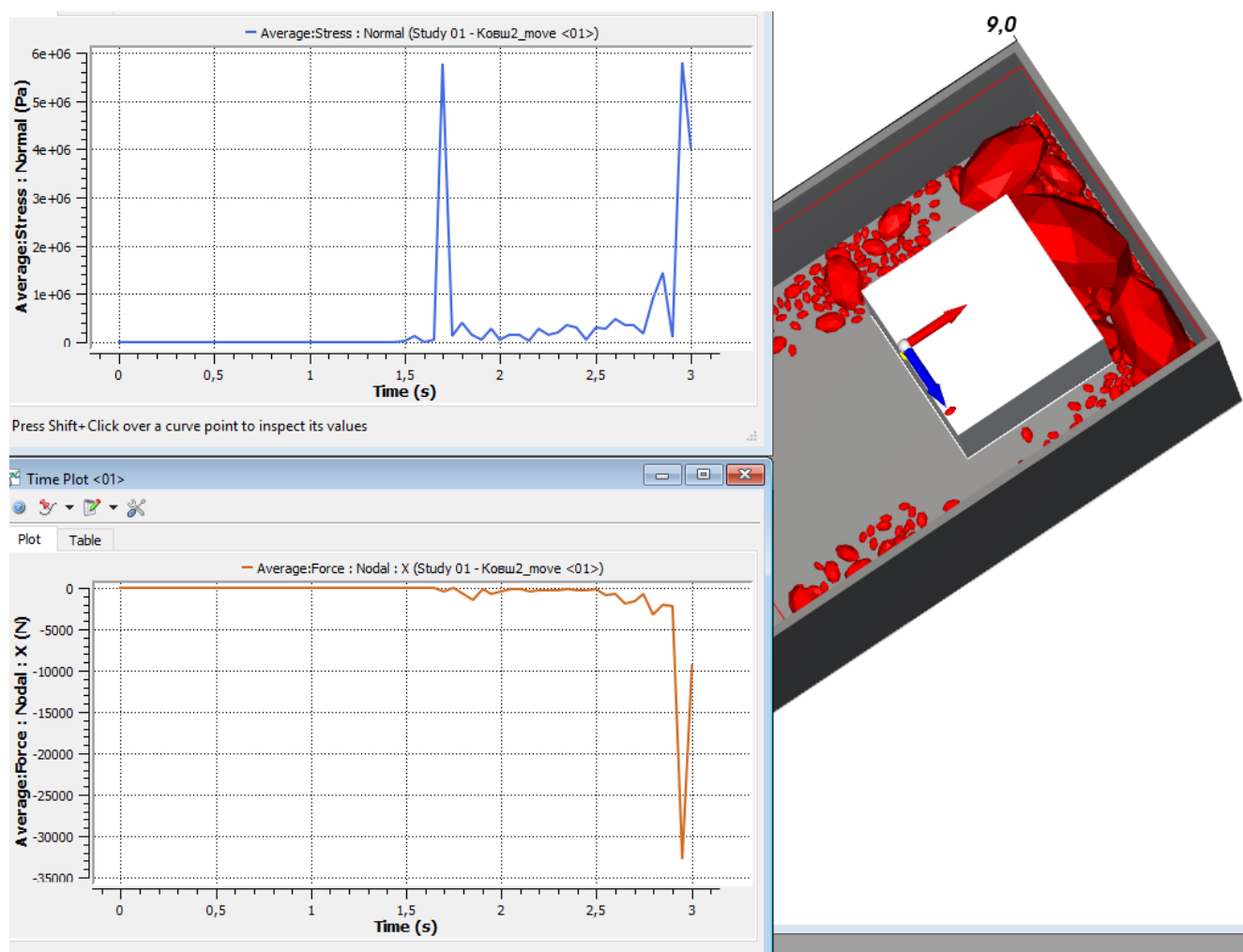


Рис 2.32 – Результати розрахунку

Результати моделювання наведено у табл 2.3

Таблиця 2.3 – Результати дослідження

№	Тип зубів	Зусилля опору, Н		Напруження матеріалу ківше середнє, Па	
		середнє	максимальне	середнє	максимальне
1	базовий	21388	681338	636871	23564256
2	пропонований	17240	328410	636175	5798570

У результаті проведеного дослідження впливу геометрії зубів ківшу визначено визначення силу опору породи при зануренні у неї ківшу та напруження у матеріалі ківшу.

Встановлено, що пропоновані у патенті [6] зуби сприяють суттєвому зниженню сили опору при зануренні ківшу. Опір знижується у 1,2-2 разів. Так само спостерігається зниженні напруження у матеріалі ківшу до 4 разів.

Висновки до розділу 2

1. Розроблено загальну методику подальшого дослідження, що дозволяє досягти поставленої мети роботи;
2. У результаті аналізу літературно-патентних джерел встановлено, що для підвищення ефективності процесу зачерпування шляхом можливості зменшення опору зануренню ківшу можна застосувати пропозицію, що наведена у винаході [6]. Робоча частина пропонованого зуба виконана прямокутною в поперечному перерізі з пов'язаними між собою ріжучими кромками, причому велика сторона прямокутника розташована перпендикулярно до опорної поверхні. Оскільки зуб виконаний порівняно вузьким у напрямку копання, це дозволяє зменшити опір копання, разом з тим забезпечується більш ефективне розпушування породи і знижується енергоємність копання. Таким чином, винахід забезпечує підвищення ефективності роботи зуба.
3. У результаті проведеного дослідження заповнення ківшу залежно від гранулометричного складу породи, встановлено, що в усіх випадках ківш недовантажений на 27% -35%. Причому при застосування дрібнішого гранскладу менший ківш заповнюється краще (заповнення складає 74 % від номінального об'єму), а при застосування крупного гранскладу і більшого ківшу, він заповнюється гірше (заповнення складає 65 % від номінального об'єму).
4. Отримано лінійну математична залежність об'єму завантаженої породи у ківш від його об'єму та гранскладу гірської маси.
5. Встановлено суттєвий вплив якості розрихлення гірської маси вибухом.

6. У результаті проведеного дослідження В сили опору породи при зануренні у неї двох ківшів з різними зубами, встановлено, що пропоновані у патенті [6] зуби сприяють суттєвому зниженню сили опору при зануренні ківшу. Опір знижується у 1,2-2 разів. Так само спостерігається зниженні напруження у матеріалі ківшу до 4 разів.

3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАЧЕРПУВАННЯ ПОРОДИ КІВШОМ ТИПУ ПРЯМА ЛОПАТА

На основі проведених досліджень можна рекомендувати наступні заходи щодо покращення режиму зачерпування породи екскаваторами типу пряма лопата.

Не зважаючи на те, що встановлено відносно не великий вплив гранулометричного складу на об'єм породи, що опиняється у ковші після зачерпування (8-10%), необхідно ретельно планувати буропідбивні роботи для запобігання утворення негабаритів на забої екскаватору.

Рекомендується застосовувати на ковшах екскаваторів, що працюють зі скельними крупношматковим породами зуби пропонувану у патенті [6] (рис 3.1), що знизить опір породи у 1,2-2 разів і знизить напруження у матеріалі ківшу до 4 разів.

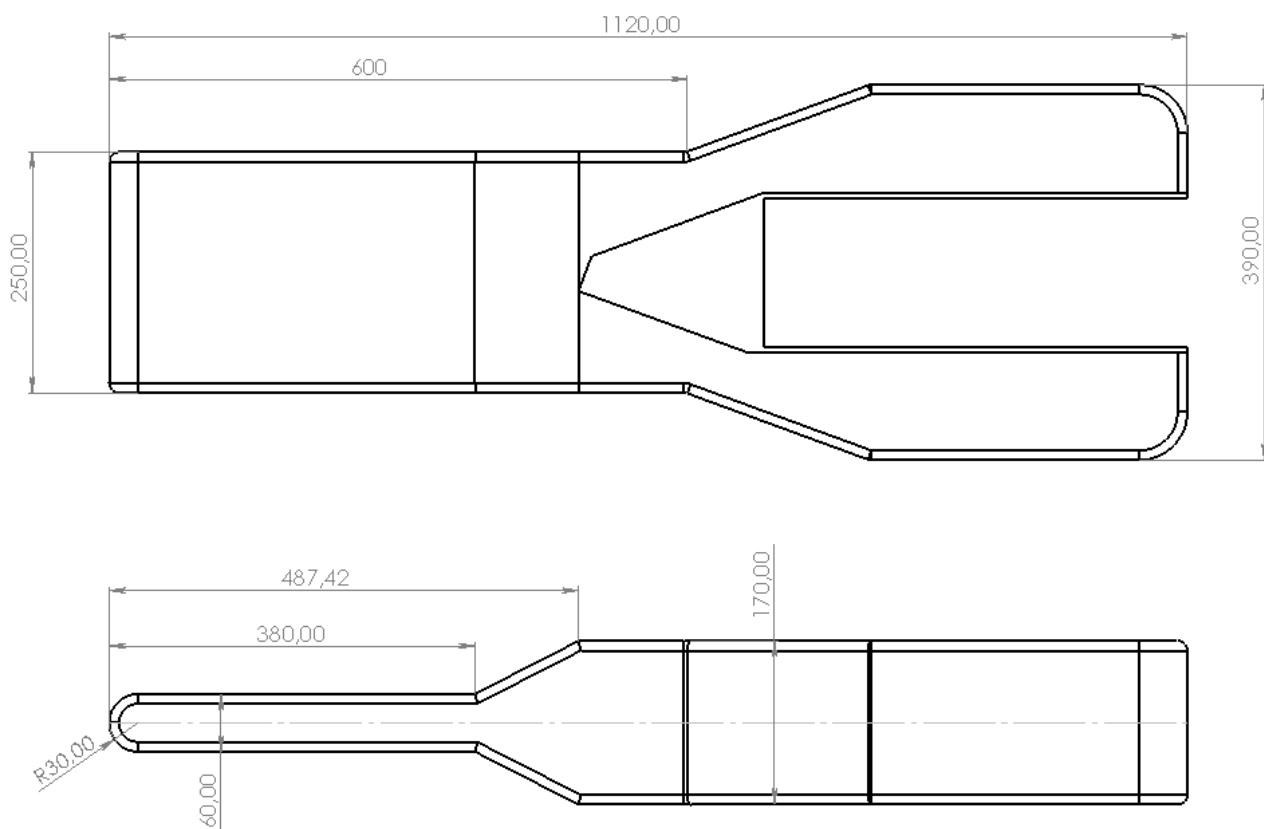


Рис 3.1 – Рекомендована конструкція зубу ківшу екскаватору типу пряма лопата

Висновки до розділу 3

1. Задля покращення процесу зачерпування гірської маси ківшем екскаватору типу пряма лопата рекомендується ретельне планування буропідливних робіт з метою кращого розпушення гірської маси і запобігання утворення негабаритів на забої екскаватору.
2. Рекомендується застосовувати на ковшах екскаваторів, що працюють зі скельними крупношматковим породами зуби, що мають робочу частину, виконану прямокутною в поперечному перерізі з пов'язаними між собою ріжучими кромками, причому велика сторона прямокутника розташована перпендикулярно до опорної поверхні. Оскільки зуб виконаний порівняно вузьким у напрямку копання, це дозволяє зменшити опір копання, разом з тим забезпечується більш ефективне розпушування породи і знижується енергоємність копання.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розв'язано актуальне науково-технічне завдання, що полягає в є покращення режиму роботи екскаваторів типу пряма лопата за рахунок визначення раціональних параметрів процесу зачерпування.

1. У результаті аналізу літературно-патентних джерел встановлено, що для підвищення ефективності процесу зачерпування шляхом можливості зменшення опору зануренню ківшу можна застосувати пропозицію, що наведена у винаході [6]. Робоча частина пропонованого зуба виконана прямокутною в поперечному перерізі з пов'язаними між собою ріжучими кромками, причому велика сторона прямокутника розташована перпендикулярно до опорної поверхні. Оскільки зуб виконаний порівняно вузьким у напрямку копання, це дозволяє зменшити опір копання, разом з тим забезпечується більш ефективне розпушування породи і знижується енергоємність копання. Таким чином, винахід забезпечує підвищення ефективності роботи зуба.
2. У результаті проведеного дослідження заповнення ківшу залежно від гранулометричного складу породи, встановлено, що в усіх випадках ківш недовантажений на 27% -35%. Причому при застосування дрібнішого гранскладу менший ківш заповнюється краще (заповнення складає 74 % від номінального об'єму), а при застосування крупного гранскладу і більшого ківшу, він заповнюється гірше (заповнення складає 65 % від номінального об'єму).
3. Отримано лінійну математична залежність об'єму завантаженої породи у ківш від його об'єму та гранскладу гірської маси.
4. Встановлено суттєвий вплив якості розрихлення гірської маси вибухом.
5. У результаті проведеного дослідження В сили опору породи при зануренні у неї двох ківшів з різними зубами, встановлено, що пропоновані у патенті [6] зуби сприяють суттєвому зниженню сили опору при зануренні ківшу.

Опір знижується у 1,2-2 разів. Так само спостерігається зниженні напруження у матеріалі ківшу до 4 разів.

6. Задля покращення процесу зачерпування гірської маси ківшем екскаватору типу пряма лопата рекомендується ретельне планування буропідбивних робіт з метою кращого розпушення гірської маси і запобігання утворення негабаритів на забої екскаватору.
7. Рекомендується застосовувати на ковшах екскаваторів, що працюють зі скельними крупношматковим породами зуби, що мають робочу частину, виконану прямокутною в поперечному перерізі з пов'язаними між собою ріжучими кромками, причому велика сторона прямокутника розташована перпендикулярно до опорної поверхні. Оскільки зуб виконаний порівняно вузьким у напрямку копання, це дозволяє зменшити опір копання, разом з тим забезпечується більш ефективне розпушування породи і знижується енергоємність копання.