

УДК 622.272:622.646:681.3.06

## ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПУСКУ РУДНОЇ МАСИ НА ВЕЛИЧИНУ ТИСКУ В МЕЖАХ ФІГУРИ ВИПУСКУ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Косенко А.В.

Криворізький національний університет

У статті викладено результати комп'ютерного моніторингу процесу випуску руди і визначення прогностичних показників тиску в межах фігури випуску з урахуванням одночасно працюючих випускних отворів для різних параметрів очисної панелі та об'ємної ваги обвалених пустих порід. На основі яких встановлено, що величина зміни тиску в межах фігури випуску у процесі випуску руди описується диференціальним рівнянням логарифмічного типу, яке вирішено чисельним методом змінних напрямків з подальшим вирішенням різницевих рівнянь методом прогонки.

**Ключові слова:** інтенсивність випуску руди, показники вилучення руди, комп'ютерне моделювання, логарифмічна залежність, поліноміальна кубічна залежність.

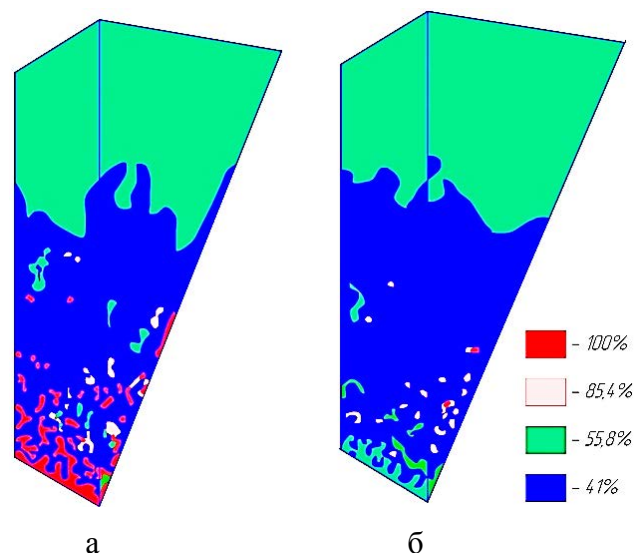
**Постановка проблеми.** Складні геомеханічні умови глибоких горизонтів, у процесі розробки природно-багатих залізних руд Кривбасу, дозволяють застосовувати, у значній мірі, різні варіанти системи розробки підповерхового обвалення. У разі застосування якої основним технологічним процесом є випуск руди через горизонтальні днища приймальних горизонтів, який супроводжується значними показниками втрат руди (16-30%) та засмічення рудної маси (15-25%). Ці показники з глибиною постійно погіршуються на 5-8%, що супроводжується зниженням якості видобутої рудної маси в середньому на 3-4% у порівнянні з природною [1].

Практичний досвід показує, що втрати руди у гребенях між випускними отворами панелі істотно знижуються зі збільшенням продуктивності засобів доставки або інтенсивності випуску. Це пояснюється лише зниженням тиску в межах фігури випуску. Але даний факт досконально не досліджувався вченими.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз робіт [2-4] у галузі теорії та практики процесу випуску руди під обваленими пустими породами показав, що значним чином на показники вилучення руди впливає інтенсивність її випуску, збільшення якої значно знижує втрати руди і покращує умови експлуатації виробок доставки в результаті зменшення гірничого тиску на днище блоку.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Визначення показників вилучення руди для умов підземного Кривбасу здійснюється за допомогою затвердженої методики [5]. На основі якої автором статті були розраховані показники вилучення чистої руди для середньозважених умов розробки покладів при-

родно-багатих залізних руд Криворізького басейну. Дані розрахунків приведені у табл. 1.



**Рис. 1. Моделювання випуску руди з моделі при однаковій інтенсивності за допомогою програмного комплексу EDEM**

а – з кожного випускного отвору по черзі (рівномірно-послідовний режим випуску);  
б – з чотирьох випускних отворів одночасно (почергово-стадійного «рівномірно-паралельними почерговими лінійними зонами рівномірних доз» режиму випуску)

Джерело: розроблено автором

За проведеними розрахунками (табл. 1) встановлено, що зміна показників вилучення чистої руди, а відповідно і рудної маси, здійснюється

Таблиця 1

**Результати розрахунку показників вилучення чистої руди у процесі розробки покладів системою підповерхового обвалення**

Найменування показника	Показник					
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Інтенсивність відпрацювання запасів панелі, т/м <sup>2</sup> на добу	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Вилучення чистої руди із запасу над випускними отворами днища панелі, %	76,5	77,4	77,8	77,8	77,8	77,8
Вилучення чистої руди з трикутника лежачого боку, %	40,6	41,3	41,9	41,9	41,9	41,9
Загальне вилучення по панелі, %	61,2	62,0	62,5	62,5	62,5	62,5

Джерело: розроблено автором на основі [1]

у діапазоні зміни інтенсивності технологічного процесу випуску у межах від 0,5 до 1,5 т/м<sup>2</sup> на добу, яка забезпечується продуктивністю скреперної доставки. Подальше збільшення інтенсивності зовсім не впливає на показники вилучення, що суперечить результатам досліджень [6–8].

**Мета статті.** Встановити кількісні залежності величини тиску в межах фігури випуску від інтенсифікації технологічного процесу випуску для різних параметрів очисної панелі та об'ємної ваги обвалених пустих порід.

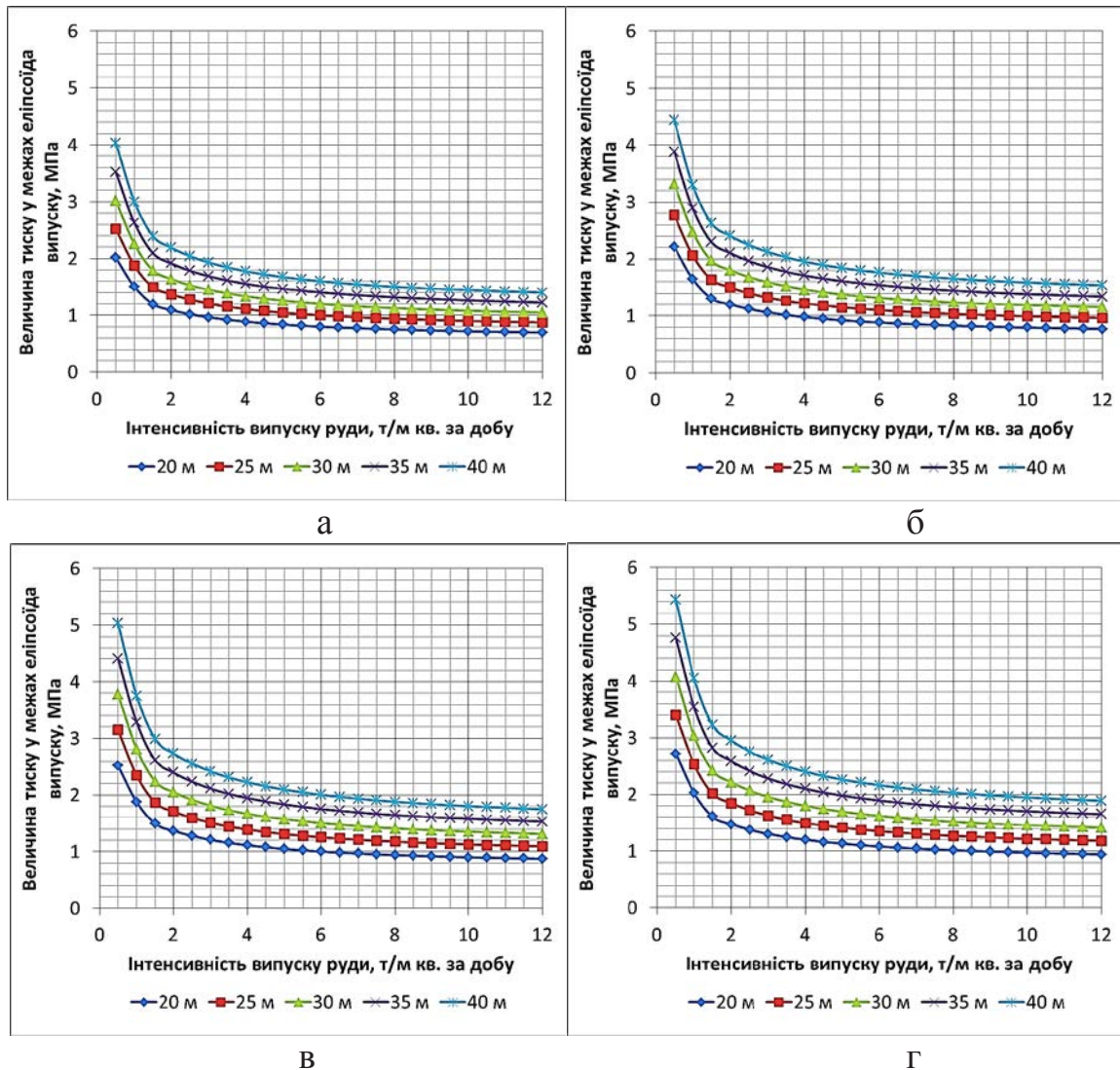
**Виклад основного матеріалу.** На основі вище сказаного було проведено моделювання у програмному комплексі EDEM. Яке дало змогу встановити той факт, що у момент початку витікання з випускного отвору сипучий матеріал змінює свої механічні властивості. Ці явища супроводжуються змінами статичного тиску, який встановлюється перед початком випуску сипучого матеріалу. Для встановлення згаданих змін здійснюється моделювання процесу завантаження моделі і її розвантаження через ви-

пускні отвори із зазначенням усіх геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей сипкого матеріалу, що відповідають реальним умовам розробки природно-багатих залізних руд Кривбасу.

У ході моделювання змінювалась інтенсивність випуску руди через випускні отвори та кількість випускних отворів з яких одночасно здійснюється випуск (від 1 до 4). Одна з цих стадій представлена на рис. 1.

За отриманими у процесі моделювання даними були побудовані графіки залежності зміни величини тиску в межах еліпсоїда випуску для різної еквівалентної ширини очисної панелі і об'ємної ваги обвалених пустих порід (рис. 2, 3).

У ході проведеного моделювання було встановлено, що навантаження на днище залежать від форми, площі та обсягів ділянок масиву, що відбиваються, і змінюється в процесі випуску. Над випускним отвором, з якого проводиться випуск, утворюється зона розпушення, в результаті чого тиск в цій зоні знижується. Розмір зони



**Рис. 2.** Графіки залежності зміни величини тиску в межах еліпсоїда випуску від інтенсивності технологічного процесу випуску руди для різної еквівалентної ширини очисної панелі а – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,0 т/м<sup>3</sup>; б – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,2 т/м<sup>3</sup>; в – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,5 т/м<sup>3</sup>; г – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,7 т/м<sup>3</sup>

Джерело: розроблено автором

розпушення пов'язаний з розмірами фігури випуску і збільшується в залежності від кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск. За межами зони розпушення тиск на днище збільшується, у середньому на 20-40% від початкового, в залежності від кількості випускних виробок з яких одночасно здійснюється випуск і тим менший чим більша кількість випускних отворів з яких одночасно здійснюється випуск та інтенсивність технологічного процесу випуску. Максимальний тиск на днище блоку в процесі випуску залежить від розмірів блоку, інтенсивності та порядку випуску руди. За інших рівних умов максимальний тиск зростає зі збільшенням ширини блоку і його горизонтальної площі. Значний вплив на величину гірничого тиску обумовлюються величиною дози та інтенсивністю випуску.

Результатами проведених досліджень описані математичними виразами:

для  $6 < I \leq 12$  т/м<sup>2</sup> за добу

$$P = 0,9793^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,1973, \text{МПа}; \quad (1)$$

для  $1,5 < I \leq 6$  т/м<sup>2</sup> за добу

$$P = 0,9726^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,2715, \text{МПа}; \quad (2)$$

для  $0,5 < I \leq 1,5$  т/м<sup>2</sup> за добу

$$P = 0,5927^I \cdot 1,0351^{A_e} \cdot 1,5347^{\gamma_n} \cdot 0,5582, \text{МПа}; \quad (3)$$

де  $I$  – інтенсивність технологічного процесу випуску рудної маси, т/м<sup>2</sup> за добу;  $A_e$  – еквівалентна ширина очисної панелі, м;  $\gamma_n$  – об'ємна вага обвалених порід, що вміщують масив, т/м<sup>3</sup>.

Таким чином з аналізу приведених виразів (1-3) встановлено, що тиск у межах фігури випуску знаходиться у логарифмічній залежності від інтенсивності технологічного процесу випуску рудної маси, еквівалентної ширини очисної панелі і об'ємної ваги обвалених порід, що вміщують рудний масив.

Проведені дослідження доводять факт, викладений у роботі [4], що тиск, який створюється вагою обваленої руди і порід, що заповнюють вироблений простір, є одним із головних факторів, що обумовлює руйнування виробок днища.

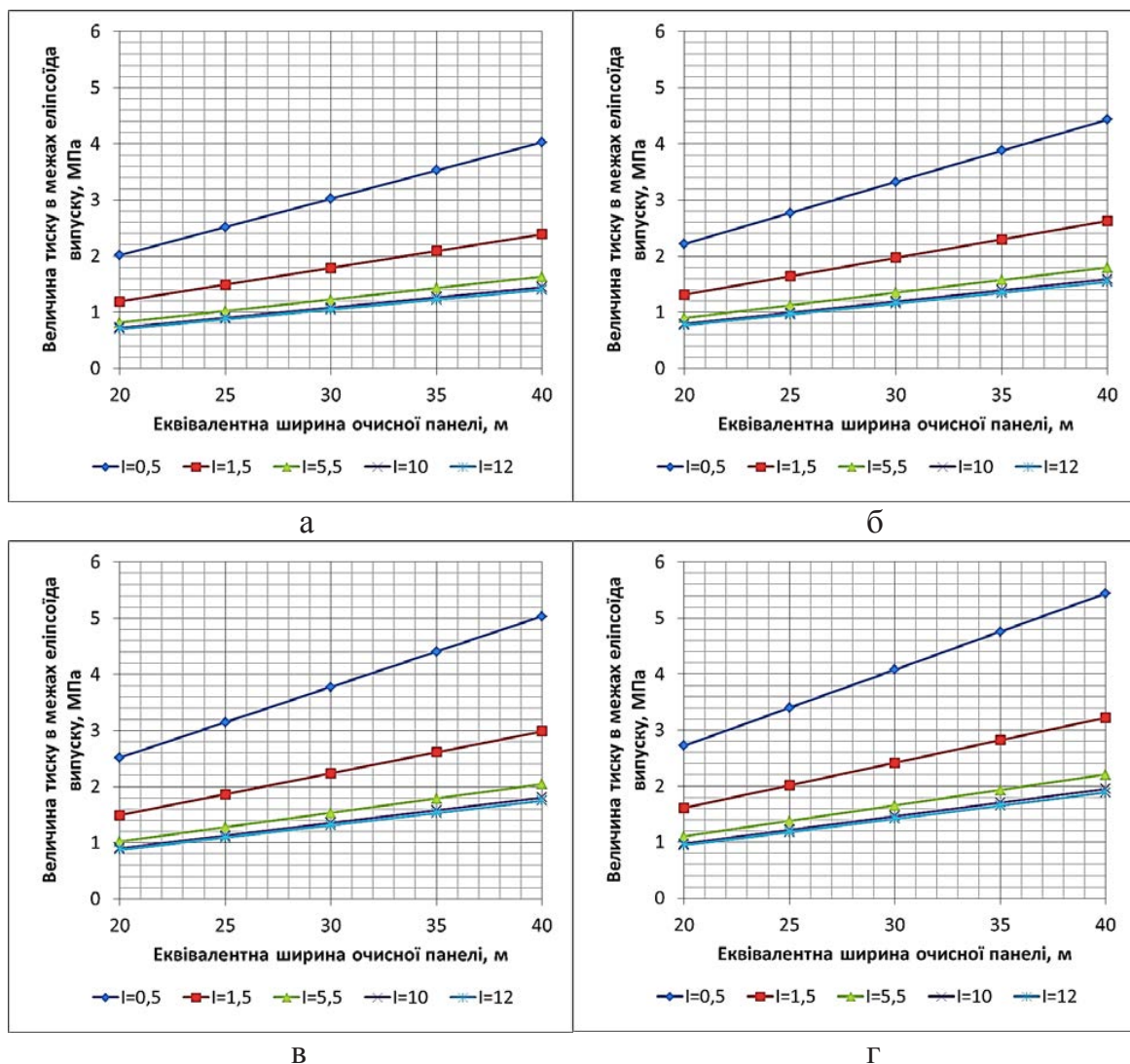


Рис. 3. Графіки залежності зміни величини тиску в межах еліпсоїда випуску від інтенсивності технологічного процесу випуску руди для різної еквівалентної ширини очисної панелі а – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,0 т/м<sup>3</sup>; б – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,2 т/м<sup>3</sup>; в – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,5 т/м<sup>3</sup>; г – об'ємна вага пустих обвалених порід становить 2,7 т/м<sup>3</sup>

Джерело: розроблено автором



**Висновки і пропозиції.** Тиск обваленої руди на днище приймального горизонту, у межах глибини розробки 1200-1400 м, знаходиться в поліноміальній кубічній залежності від інтенсивності технологічного процесу випуску рудної маси та при еквівалентній ширині панелі 20 м суттєво зменшується у діапазоні зміни інтенсивності випуску від 0,5 до 5,5-6,0 т/м<sup>2</sup> за добу з 2,52 до 1,0 МПа, після чого подальше збільшення інтенсивності випуску від 5,5-6,0 до 12 т/м<sup>2</sup> за добу не суттєво впливає на зменшення величини тиску і він зменшується з 1,0 до 0,88 МПа і лінійно залежить від еквівалентної ширини очисної панелі та об'ємної ваги обвалених пустих порід при відпрацювання покладів II класу. І досягає значень тиску 2,2-4,3 МПа при інтенсивності випуску 0,5 т/м<sup>2</sup> за добу, зменшуючись до

0,94-1,89 МПа зі збільшенням інтенсивності випуску до 12 т/м<sup>2</sup> за добу, при оптимальних параметрах тиску 1,1-2,2 МПа у разі забезпечення інтенсивності випуску на рівні 5,5-6 т/м<sup>2</sup> за добу при середній об'ємній вазі обвалених пустих порід 2,5 т/м<sup>3</sup>. А величина горизонтальної площини зони тиску знаходиться у експоненційній залежності від висоти обваленого шару руди та кількості випускних отворів з яких одночасно здійснюється випуск.

Таким чином необхідно уточнювати розрахунки показників вилучення рудної маси у процесі розробки покладів природно-багатих залізних руд Кривбасу у відповідності до представлених у роботі математичних виразів у разі застосування високопродуктивної самохідної техніки на технологічному процесі доставки рудної маси.

### Список літератури:

1. Калініченко В. О. Дослідження показників вилучення руди на основі фізичного моделювання її випуску для умов глибоких горизонтів шахт Кривбасу / Калініченко В. О., Косенко А. В., Хівренко О. Я. // *Качество минерального сырья: Сб. научн. трудов.* – 2017. – Т. 1. – С. 143-155.
2. Brown E. T. Block Caving Geomechanics / E. T. Brown. – Queensland, 2002. – 515 p.
3. Романько Е. А. «Идеальные» условия для выпуска руды под обрушенными породами на основе анализа опытов по моделированию выпуска руды / Е. А. Романько, В. Н. Кобелькова, И. В. Гулишова // *Материалы 68-й межрегиональной научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования».* – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». – 2010. – Т. 1. – С. 228-231.
4. Черненко А. Р. Подземная добыча богатых железных руд / А. Р. Черненко, В. А. Черненко – М.: Недра, 1992. – 224 с.
5. Инструкция по нормированию, прогнозированию и учету показателей извлечения руды из недр при подземной разработке железорудных месторождений / Азарян А. А., Колосов В. А., Моргунов А. В. [и др.] – Кривой Рог: Минерал, 2006. – 135 с.
6. Вольфсон П. В. Оптимизация параметров днищ блоков – основной путь повышения производительности очистного забоя и снижения производственного травматизма на железорудных шахтах / Вольфсон П. В., Володий Е. Л. // *Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу: Зб. наук. праць ДП «НДІБПГ».* – Кривий Ріг – 2008. – Вип. 10. – С. 42-45.
7. Савич И. Н. Современные тенденции в развитии технологий с обрушением и их совершенствование при подземной разработке апатитовых месторождений Хибин / Савич И. Н., Кузьменко А. С. // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).* – 2005. – № 7. – С. 218-220.
8. Гаврилова Л. А. К вопросу влияния конструкции погрузочных машин на производительность в условиях ОАО «Гайский ГОК» / Гаврилова Л. А. // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).* – 2004. – № 11. – С. 270-273.

**Косенко А.В.**

Криворожский национальный университет

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫПУСКА РУДНОЙ МАССЫ НА ВЕЛИЧИНУ ДАВЛЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ФИГУРЫ ВЫПУСКА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

### Аннотация

В статье изложены результаты компьютерного мониторинга процесса выпуска руды и определения прогнозных показателей давления в пределах фигуры выпуска с учетом одновременно работающих выпускных отверстий для различных параметров очистной панели и объемного веса обрушенных пустых пород. На основе которых установлено, что величина изменения давления в пределах фигуры выпуска в процессе выпуска руды описывается дифференциальным уравнением логарифмического типа, которое решено численным методом переменных направлений с последующим решением разностных уравнений методом прогонки.

**Ключевые слова:** интенсивность выпуска руды, показатели извлечения руды, компьютерное моделирование, логарифмическая зависимость, полиномиальная кубическая зависимость.

**Kosenko A.V.**

Kryvyi Rih National University

**DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF THE INTENSIFICATION  
OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ORE DRAWING PRODUCTION  
ON THE VAPOR PRESSURE IN THE LIMITS OF THE FIGURE ORE DRAWING  
ON COMPUTER SIMULATION**

**Summary**

The article contains the results of computer monitoring of the ore production process and the determination of the predicted pressure indices within the figure of the ore drawing, taking into account simultaneously operating outlets for various parameters of the panel caving and the volumetric weight of the collapsed empty rocks. On the basis of which it is established that the value of the pressure change within the release figure of the ore drawing the ore drawing is described by a differential equation of the logarithmic type, which is solved by a numerical method of alternating directions with the subsequent solution of the difference equations by the sweep method.

**Keywords:** ore output intensity, ore extraction parameters, computer simulation, logarithmic dependence, polynomial cubic dependence.