

импульса на формирование поля напряжений и дробление горных пород взрывом. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кривой Рог - 197(5).

7. Кузнецов В. М. Математические модели взрывного дела. Академия наук СССР, Сибирское отделение. -Ин-т горного дела, Изд-во «Наука», Новосибирск, 1977. - 280 с.

8. Кутузов Б. Н., Рубцов В. К. Физика взрывного разрушения горных пород. Учебное пособие, МГИ. -178 с.

9. Густафсон Р. Шведская техника взрывных работ. Пер. с англ. Под ред. проф. д-ра техн. наук Г.П. Демидюка, Недра, 1977. 264 с.

10. Кук М. А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. Пер. с англ. Под. ред. Г. П Демидюка и И. С. Бахаревич. М.: Недра, 1980. -453 с.

#### **УДК 622.27:621.926.9(339.138)**

М.І. СОКУР, д-р техн. наук, проф., Д.П. БОЖИК, аспірант, І.М. СОКУР, науковий співробітник, Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

#### **МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ БАРАБАНА МЛИНА САМОПОДРІБНЕННЯ**

***Мета.** Метою даної роботи є одержання моделей напруженого стану елементів барабана млина самоподрібнення з використанням теорії подібності та імітацією навантаження в полі відцентрових сил.*

***Методи дослідження.** Метод дослідження - фізичне моделювання роботи барабана млина самоподрібнення. При цьому експериментальні дослідження напруженого стану моделі барабана млина самоподрібнення виконані на спеціальному стенді, що складався з центрифуги, в якій навантажуються модель барабана. Для вимірювання напруження застосовувалися тензорезистори опору 100 Ом і базою 10 мм, з'єднаних за напівмостовою схемою, та комплект тензометричної апаратури, що складається з блоку живлення, підсилювача 8АН4-7м і осцилографа Н-700.*

***Наукова новизна.** Експериментально одержані епюри розподілу напружень в елементах конструкції барабана млина, зокрема, торцевих стінках і обичайці барабана, а також в ребрах жорсткості стінок і обичайки. Визначено значення напружень у всіх замірних точках*

моделей барабанів без ребер жорсткості і з ребрами.

**Практична значимість.** Аналіз впливу ребер жорсткості і типу опор підшипників на напружений стан барабана млина показує, що напруження в торцевій стінці барабана млина мають знаковмінний характер і збільшуються до цапфи. Посилення тільки торцевої стінки радіальними ребрами жорсткості приводить до зниження напружень в стінці на 20%. Підсилення барабана млина сумірними ребрами жорсткості на торцевій стінці і обичайці приводить до зниження напружень в торцевій стінці на 35-50% і зменшення концентрації напружень біля цапфи. Застосування сферичних самоустановлювальних опор підшипників барабана, дозволяє суттєво знизити напруження в торцевих стінках, підвищити міцність, надійність та довговічність барабана.

**Результати.** Встановлено вплив типу опор підшипників (вальниці) і ребер жорсткості на характер розподілу напружень у барабані млина. Одержані результати можуть бути використані при модернізації існуючих і оптимізації конструкції нових млинів самоподрібнення.

**Ключові слова:** млин самоподрібнення, фізичне моделювання, конструкція млина, торцева стінка та ребра жорсткості, опори підшипників барабана.

**Цель.** Целью данной работы является получение моделей напряженного состояния элементов барабана мельницы самоизмельчения с использованием теории подобия и имитацией нагрузки в поле центробежных сил.

**Методы исследования.** Метод исследования - физическое моделирование работы барабана мельницы самоизмельчения. При этом экспериментальные исследования напряженного состояния модели барабана мельницы самоизмельчения выполнены на специальном стенде, состоящий из центрифуги, в которой нагружается модель барабана. Для измерения напряжений применялись тензорезисторы сопротивления 100 Ом и базой 10 мм, соединенных по полумостовой схеме, и комплект тензометрической аппаратуры, состоящий из блока питания, усилителя 8АН4-7м и осциллографа Н-700.

**Научная новизна.** Экспериментально полученные эпюры распределения напряжений в элементах конструкции барабана мельницы, в частности, торцевых стенках и обечайке барабана, а также в ребрах жесткости стенок и обечайки. Определены значения напряжений во всех замерных точках моделей барабана без ребер жесткости и с ребрами.

**Практическая значимость.** Анализ влияния ребер жесткости и типа опор подшипников на напряженное состояние барабана мельницы показывает, что напряжение в торцевой стенке барабана мель-

ницы имеют знакопеременный характер и увеличиваются до цапфы. Усиление только торцевой стенки радиальными ребрами жесткости приводит к снижению напряжений в стенке на 20%. Усиление барабана мельницы соизмеримыми ребрами жесткости на торцевой стенке и обечайке приводит к снижению напряжений в торцевой стенке на 35-50% и уменьшению концентрации напряжений у цапфы. Применение сферических самоустанавливающихся опор подшипников барабана, позволяет существенно снизить напряжения в торцевых стенках, повысить прочность, надежность и долговечность барабана.

**Результаты.** Установлено влияние типа опор подшипников и ребер жесткости на характер распределения напряжений в барабане мельницы. Полученные результаты могут быть использованы при модернизации и оптимизации конструкции новых мельниц самоизмельчения.

**Ключевые слова:** мельница самоизмельчения, физическое моделирование, конструкция мельницы, торцевая стенка и ребра жесткости, опоры подшипников барабана.

**Goal.** The purpose of this work is to obtain models of the stressed state of the drum elements of the autogenous mill using the theory of similarity and imitation of the load in the field of centrifugal forces.

**Methods of research.** The method of investigation is the physical simulation of the work of the drum of a autogenous mill. At the same time, experimental studies of the stress state of the drum model of a autogenous mill are performed on a special bench consisting of a centrifuge in which the drum model is loaded. To measure stresses, tensoresistors of resistance of 100 Ohms and a base of 10 mm connected by a half-bridge scheme were used, and a set of strain gauges consisting of a power unit, an amplifier 8AN4-7m and an oscillograph N-700.

**Scientific novelty.** Experimentally obtained stress distribution diagrams in the elements of the mill drum design, in particular, the end walls and drum shell, as well as in the ribs of wall and shell stiffness. The stress values in all the measuring points of the drum models without stiffeners and with ribs are determined.

**Practical significance.** Analysis of the influence of the stiffeners and the bearing support type on the stressed state of the mill drum shows that the stress in the end wall of the mill drum is of an alternating nature and increases to a pin. The reinforcement of only the end wall by the radial stiffeners results in a reduction in stresses in the wall by 20%. The strengthening of the mill drum with commensurable stiffeners on the end wall and shell leads to a reduction of stresses in the end wall by 35-50% and a decrease in stress concentration in the trunnion. The use of spherical

*self-aligning bearings of the drum bearings allows to significantly reduce stresses in the end walls, to increase the strength, reliability and durability of the drum.*

**Results.** *The influence of the bearing type and the stiffeners on the nature of the distribution of stresses in the mill drum is established. The results obtained can be used to modernize and optimize the design of new autogenous mills.*

**Key words:** *autogenous mill, physical modeling, mill design, end wall and reinforcement ribs, drum bearings bearings.*

**Постановка проблеми та стан її дослідження.** Проблема моделювання напруженого стану барабана млина самоподрібнення має два аспекти, які утруднюють задачу.

*По-перше*, моделювання багатотоннажних млинів самоподрібнення (AG) та напівсамоподрібнення (SAG) показує значні проблеми, пов'язані з труднощами в отриманні високоякісних даних для промислових об'єктів, що суттєво ускладнює експеримент [1]. У роботі [2] успішно розроблено динамічну модель напівсамоподрібнення руди. Набір звичайних диференціальних рівнянь було вирішено за допомогою платформи графічного програмування MATLAB / SIMULINK. Модель протестовано та перевірено на продуктивності самоподрібнення 1800 т/год в умовах міднорудного комбінату.

*По-друге*, проблемою є моделювання умов роботи конструктивних елементів млинів самоподрібнення. Для дослідження напруженого стану конструкцій прийнято використовувати імітації навантаження в полі відцентрових сил [3,4]. Зокрема, навантаження моделей у полі відцентрових сил з використанням теорії подібності знаходить застосування в авіаційній техніці, однак для дослідження напруженого стану елементів млинів раніше не використовувалося.

Барабани більшості типорозмірів вітчизняних і зарубіжних млинів самоподрібнення оснащені ребрами жорсткості. Думка вчених про вплив ребер жорсткості на величину і характер розподілу напружень у барабані млина неоднозначні [5], що обумовлює необхідність додаткових досліджень. Актуальність дослідження напруженого стану конструкцій млина показана також в роботах [6-9].

**Мета статті** – одержання моделей напруженого стану елементів барабана млина самоподрібнення з використанням теорії подібності та імітацією навантаження в полі відцентрових сил.

**Методика проведення досліджень.** Авторами проведені детальні дослідження в стендових і промислових умовах. Дослідження в стен-

дових умовах проводилися на моделях барабана млина ММС-90-30А, виготовлених в масштабі 1:20 з того ж матеріалу, що й натура, із збереженням геометричної та силової подібності. Для проведення досліджень спроектовано і виготовлено моделі барабанів трьох типів: без ребер жорсткості, з ребрами жорсткості тільки на торцевій стінці, з ребрами на торцевій стінці і обичайці барабана (рис. 1).

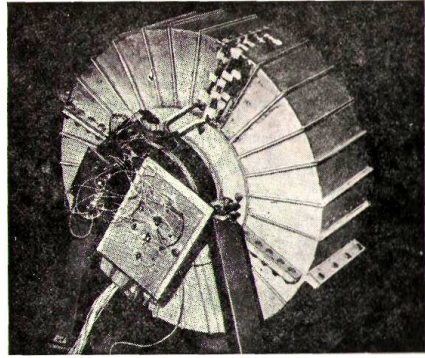


Рис. 1. Модель барабана млина самоподібнення

Дослідження напруження в барабані млина досліджувалися на спеціальному стенді, що складався з центрифуги, в якій навантажується модель барабана, і комплекту тензOMETричної апаратури (рис. 2).

Методика дослідження докладно викладена і роботі [10]. Для даного випадку моделювання визначальними параметрами є діаметр барабана  $B$  (м), коефіцієнта Пуассона  $\nu$  (безрозмірний), модуль пружності  $E$ , густина пульпи  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>), діюче навантаження  $F$  (Н).

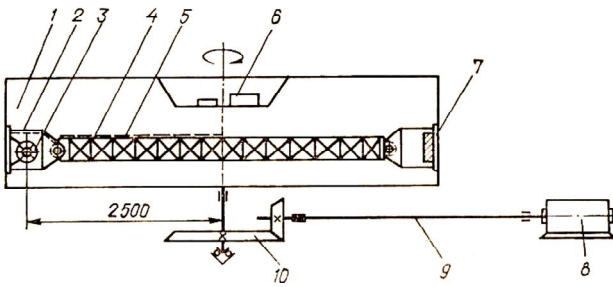


Рис. 2. Схема стенда для проведення досліджень напруженого стану моделей барабанів млинів різної конструкції: 1 - корпус центрифуги; 2 - возик для установки моделі; 3 - модель барабана; 4 - коромисло; 5 - провідники; 6 - вимірювальна апаратура; 7 - контрвантаж; 8 - приводний електродвигун; 9 - вал; 10 - редуктор

Отже, визначальних параметрів - 5, параметрів з незалежними розмірностями - 2. Виходячи з цього, в даному випадку для забезпечення фізичної схожості є три комплекси  $\nu$ ,  $E/\rho gD$ ,  $\rho/ED^2$ .

Оскільки моделі виготовляються з того ж матеріалу, що й натура,

параметри  $\rho$ ,  $\nu$  і  $E$  у моделі і натурі однакові. Тому для дотримання механічної подібності повинні виконуватися наступні умови:  $gD=\text{const}$ ,  $\rho/D^2=\text{const}$ . При прийнятому масштабі моделювання  $D_m=(1/20)D_n$ ,  $g_n=20g$ , де  $D_m$ ,  $D_n$  - діаметри барабана моделі і натурі;  $g_n$ ,  $g$  - прискорення відцентрової сили і сили тяжіння.

Необхідна частота обертання ротора центрифуги визначається так

$$g_n = \omega^2 R = 20g; \quad w = \sqrt{20g/R}; \quad \omega = \sqrt{\frac{20 \cdot 9,81}{2,5}} = 8,85 \text{c}^{-1}; \quad n = 60$$

$$\frac{\omega}{2\pi} = 60 \frac{8,85}{2 \cdot 3,14} = 85 \text{хв}^{-1}.$$

Маса завантаження в модель барабана млина визначається виходячи з умов: обсяг робочого простору барабана натурі  $V=160 \text{ м}^3$ , коефіцієнт заповнення  $\varphi=0,45$ ,  $\rho=0,62$ , можливий коефіцієнт перевантаження  $K_1=1,15$ , насипна маса руди  $\gamma=2,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , тоді маса завантаження  $P_m=18 \text{ кг}$ .

При визначені таким чином параметрів моделювання досліджується напруження в елементах конструкції барабана млина з різною частотою обертання ротора центрифуги на моделях барабана без ребер жорсткості, з ребрами тільки на торцевих стінках і з ребрами на стінках і обичайки.

Для вимірювання напруження застосовувалися тензорезистори опору 100 Ом і базою 10 мм, з'єднаних за напівмостовою схемою, та комплект тензометричної апаратури, що складається з блоку живлення, підсилювача 8АН4-7м і осцилографа Н-700. Тензорезистори наклеюються ціакриновим клеєм, завдяки чому спрощується технологія наклейки і відпадає необхідність термообробки наклеєних тензометричних мостів. Схеми розташування тензорезисторів на моделі барабана млина показано на рис. 3.

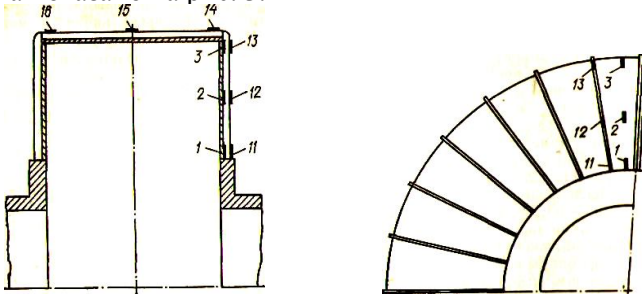


Рис. 3. Схеми розташування тензорезисторів на моделі барабана млина для досліджень у відцентровому полі (тут і на рис. 4 цифри - номери тензорезисторів)

У загальноприйнятих методиках при проведенні досліджень напруження на обертових деталях електричні імпульси від тензOMETричних мостів, що знаходяться на обертовій деталі, до тензOMETричної апаратури передаються за допомогою струмознімальних пристроїв з ковзаючими контактами, що нерідко спотворює характер і точність вимірювань через наявність перехідних контактних опорів. З метою спрощення вимірювальної схеми, виключення впливу перехідних контактних опорів і підвищення достовірності вимірів струмознімальний пристрій не застосовується, а вимірювальна тензOMETрична апаратура встановлена безпосередньо на обертовому корпусі центрифуги біля її осі, де відцентрова сила має мінімальне значення. ТензOMETрична апаратура з'єднується безпосередньо з тензорезисторами, закріпленими на моделі барабана, яка встановлюється у візку центрифуги з допомогою гнучкого екранованого кабеля. Управління роботою тензOMETричної апаратури проводиться дистанційно при періодичному візуальному контролі налаштування апаратури. Отримані в результаті досліджень осцилограми зміни напружень у всіх замірних точках на барабані млина обробляються і розшифровуються за загальноприйнятою методикою.

За середнім значенням експериментальних даних будуються епюри розподілу напруг і торцевих стінках і обичайці, а також в ребрах жорсткості стінок і обичайки барабана. На підставі порівняльного аналізу епюр напружень в моделях барабанів різної конструкції робляться висновки про вплив ребер жорсткості на величину і характер розподілу напружень в різних елементах барабана, міцності і надійності барабанів різної конструкції.

*Вплив типу опор підшипників (вальниці).* Для проведення досліджень проектується і виготовляється модель барабана млина в масштабі 1:20 з дотриманням вимог геометричної і силової подібності.

Барабан обладнується двома змінними комплектами підшипників (вальниці) з різними типами опор - плоскою, жорстко закріпленою опорою основи підшипників і сферичною, рухомою, самоустановлювальною опорою.

Для визначення напружень в моделі барабана на торцевих стінках і обичайці наклеюються тензорезистори ПКБ-10-100 опором 100 Ом і базою 10 мм. Схема з'єднання тензорезисторів - напів-мостова з робочим і компенсаційним тензорезисторами. Кріпляться тензорезистори ціакриновим клеєм, який дозволяє обходитися без термічної обробки.

У процесі досліджень підшипників навантаження на барабан

створюється за допомогою навантажувального пристосування, що складається з п'ятитонного гідравлічного преса та спеціальної фасонної прокладки, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження на барабан. Деформації і напруження, що виникають в елементах барабана, сприймаються тензорезисторами, фіксуються і записуються за допомогою тензометричної апаратури, рис. 4.

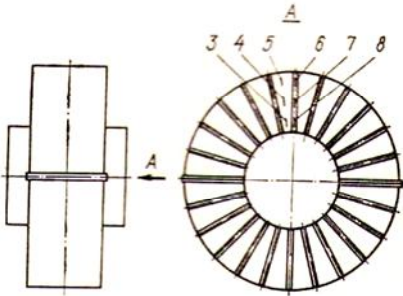


Рис. 4. Схема розташування тензорезисторів моделі барабана млина (компенсаційні тензорезистори не показаня)

Дослідження проводилися при таких величинах навантаження на барабан: 53, 79, 105 і 132 МН. Ці навантаження прикладалися послідовно спочатку до барабана, встановленого на підшипниках з плоскою, жорстко закріпленою опорою підстави підшипника, потім ці опори замінювалися сферичними, рухливими, самоустановлювальними. За допомогою тензометричної апаратури фіксувалися і записувалися осцилограми напруг у

всіх замірних точках на барабані при різних типах опор підшипників, оброблювалися і розшифровувалися згідно з розглянутою методикою.

За отриманими експериментальними даними будуються епюри напружень в елементах барабана млина (торцевих стінках і ребрах жорсткості). На основі порівняльного аналізу епюр напружень робляться висновки про вплив типу опор підшипників на величину і характер розподілу напружень в елементах конструкції барабана.

*Вплив ребер жорсткості.* Згідно з методикою, викладеною вище, досліджувався вплив ребер жорсткості на характер розподілу напружень у барабані млина.

**Викладення основного матеріалу.** У результаті досліджень отримані експериментальні значення напружень у всіх замірних точках моделей барабанів без ребер жорсткості і з ребрами. За середнім значенням експериментальних даних побудовані епюри розподілу напруги в торцевих стінках і обичайці барабана, а також в ребрах жорсткості стінок і обичайки (рис. 5).

Як випливає з наведених епюр, максимальні напруження виникають в торцевих стінках без ребер жорсткості і обичайці (рис. 5 а). По висоті стінки напруження розподіляються нерівномірно і мають тен-

денцію до різкого збільшення у напрямку до цапфи.

При наявності ребер жорсткості напруження на торцевій стінці знижуються майже на 20 % (рис. 5 б); по висоті стінки характер розподілу напружень залишається таким же, як і в стінці без ребер жорсткості. При установці ребер жорсткості на торцевій стінці і на обичайці барабана напруження в торцевій стінці знижуються на 35-50 %, однак у перерізі біля з'єднувального фланця цапфи залишаються в 2-3 рази більшими, ніж напруження поблизу обичайки (рис. 5 в). При установці ребер жорсткості тільки на торцевій стінці характер розподілу напружень в ребрах такий же, як і в стінці, і вони не викликають помітного перерозподілу напружень як у самій стінці, так і в ребрах, а тільки дещо знижують їх величину (рис. 5 з).

Якщо ребра жорсткості установлені і на торцевій стінці, і на обичайці, то напруження в ребрах жорсткості стінки помітно зменшуються. Крім того, відбувається перерозподіл напружень по висоті ребра стінки і в бік зменшення їх величини в небезпечному перерізі - поблизу з'єднувального фланця цапфи (рис. 5 д).

У ребрах обичайки характер розподілу напружень такий же, як і в обичайці без ребер жорсткості, в напруження в 1,5 рази більші, ніж у обичайки. При збільшенні швидкості обертання центрифуги, а отже, при збільшенні навантаження на моделі барабана млина, напруження у всіх елементах барабана зростають, характер їх розподілу не змінюється. Отже, величина навантаження на барабані істотно впливає тільки на абсолютну величину напружень в елементах його конструкції, не змінюючи характеру їх розподілу.

За наведеною вище методикою досліджувався також вплив типу опор підшипників млина на напружений стан барабана млина. Результати обробки експериментальних даних зведені в табл. 1.

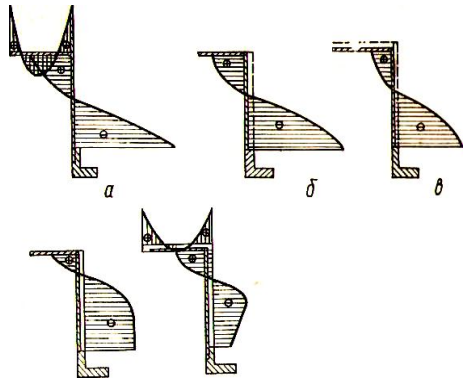


Рис. 5. Епюри розподілу напружень в радіальному перетині торцевій стінці і ребрах жорсткості моделі барабана млина різної конструкції при навантаженні у відцентровому полі з прискоренням  $20g$

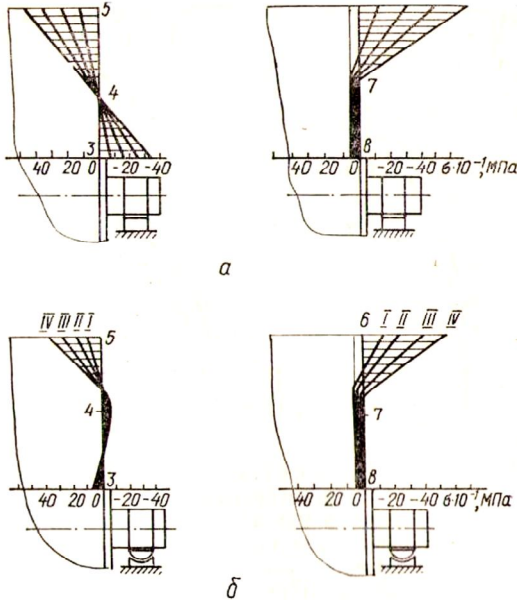
Таблиця 1

Вплив конструктивних параметрів на напруження  
в барабані млина, МПа

Датчик	Навантаження, МН			
	53	79,0	105,0	132,0
3	6,8/2,2	15,8/4,0	25,2/4,5	34,7/4,5
4	2,2/1,0	4,0/1,5	5,6/1,8	7,7/2,2
5	12,2/9,0	23,4/17,2	35,3/26,0	36,9/33,3
6	12,0/15,5	30,6/24,8	49,5/41,5	69,0/57,5
7	3,1/4,1	2,7/4,5	1,3/4,5	0,5/2,7
8	2,3/1,5	2,2/2,7	1,5/2,2	1,5/1,8

Примітка. У чисельнику наведено дані при жорстко закріпленій опорі підшипників, у знаменнику - при самоустановлювальній опорі.

За середніми значеннями експериментальних даних побудовані



епюри розподілу напружень в елементах конструкції барабана при таких типах опор підшипників – плоскою, жорстко-закріпленою, сферичною, рухомою, самоустановлювальною (рис. 6 а,б).

У результаті встановлено, що при прийнятій схемі навантаження барабана млина в торцевій стінці поблизу обичайки (рис. 6, точка 5) при сферичній опорі підшипника напруження в 1,4 рази менше, ніж при жорсткій опорі. В ребрах жорсткості торцевої стінки в цій же точці напруження при застосуванні сферичної опори підшипників зменшуються в 1,3 рази в порівнянні з жорсткою опо-

Рис. 6. Епюри розподілу напруги в торцевих стінках і ребрах жорсткості моделі барабана млина при різних типах опор підшипників: а – плоска жорстка опора; б – сферична самоустановлювальна опора; I, II, III, IV – навантаження на барабан 53, 79, 105 і 132 МН відповідного; 3-8 - номери тензорезисторів в точках виміру напруг

рою. В середній частині торцевої стінки (точка 4) напруження майже в 2 рази менше при сферичній опорі, ніж при жорсткій; в ребрах напруження практично не змінюються.

Результати експерименту підтверджують, що найбільше тип опор підшипників впливає на напруження в області цапфи. Як видно з епюр, напруження в торцевій стінці біля цапфи (точка 3) при застосуванні сферичної опори зменшується майже у 6 разів у порівнянні з плоскою опорою. Крім того, додатковий ступінь свободи при самоустановлювальній опорі призводить до деформації подвійного вигину торцевої стінки (рис. 6, *a* і *b* - ліва частина). Збільшення навантаження на барабан млина призводить до пропорційного збільшення напруження в торцевих стінках барабана (криві I–IV).

**Висновки.** Отже, на підставі результатів виконаних досліджень та аналізу впливу ребер жорсткості і типу опор підшипників на напружений стан барабана млина встановлено таке:

При впливі на барабан динамічних навантажень в торцевих стінках постійної товщини без ребер жорсткості виникають значні напруження знакозмінного характеру, які мають тенденцію збільшуватися до цапфи.

Посилення тільки торцевої стінки радіальними ребрами жорсткості призводить до зниження напружень в стінці на 20 %, але не усуває їх нерівномірного розподілу по висоті в радіальному перерізі.

Напруження в ребрах також нерівномірно розподіляються по довжині ребра і збільшуються у напрямку до цапфи.

Підсилення барабана млина сумірними ребрами жорсткості на торцевій стінці і обичайці призводить до зниження напружень в торцевій стінці на 35-50% і зменшення концентрації напружень біля цапфи.

В ребрах відбувається перерозподіл напружень з тенденцією до зменшення в небезпечному перерізі.

Ребра обичайки суттєво не впливають на характер розподілу напруги в обичайці.

При збільшенні навантаження на барабан напруження у всіх його елементах збільшуються.

Застосування сферичних самоустановлювальних опор підшипників барабана, дозволяє суттєво знизити напруження в торцевих стінках, підвищити міцність, надійність та довговічність барабана.

Перспективним напрямком подальших досліджень є моделювання напруженого стану барабану млина самоподрібнення з допомогою програмного ресурсу SolidWorks.

## *Список літератури*

1. Morrell S. A new autogenous and semi-autogenous mill model for scale-up, design and optimisation /S. Morrell // Minerals Engineering. 17(3) p.437–445 · March 2004. DOI: 10.1016/j.mineng.2003.10.013.
2. Salazar, J. L., Magne, L., Acuña, G., &Cubillos, F. (2009). Dynamic modelling and simulation of semi-autogenous mills. Minerals Engineering, 22(1), 70–77. DOI: 10.1016/j.mineng.2008.04.009.
3. Jabbari M. and Mohazzab A. H. Analytical Solution for Centrifugal Force Effect in Functionally Graded Hollow Sphere, Applied Mechanics and Materials, Vols. 110–116, pp. 2829–2837, 2012. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.110–116.2829
4. Qun Zhang Song Cen. Multiphysics Modeling: Numerical Methods and Engineering Applications // Tsinghua University Press Computational. Mechanics Series. Imprint: Academic Press. 2015. 440 p. eBook ISBN: 9780124077379; Hardcover ISBN: 9780124077096.
5. Сокур М.І., Білецький В.С. та ін. Підготовка корисних копалин до збагачення: монографія / М.І. Сокур, В.С. Білецький, О.І. Єгурнов, О.М. Воробйов, В.О. Смирнов, Д.П. Божик // Кременчук: Кременчуцький національний ун–т ім. М.Остроградського, Академія гірничих наук України. ПП Щербатих О.В., 2017. – 392 с.
6. Смирнов В.О., Білецький В.С., Шолда Р.О. Переробка корисних копалин (монографія). Донецьк: Східний видавничий дім. 2013. 600 с.
7. Смирнов В.О., Білецький В.С. Підготовчі процеси збагачення корисних копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, 2012. – 284 с.
8. Сокур М.І. Кияновський М.В., Воробйов О.М., Сокур Л.М., Сокур І.М. Дезінтеграція мінеральних ресурсів: Монографія / Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2014 – 304 с.
9. Потураев В.Н., Сокур М.И. Мельницы самоизмельчения / Киев: Наукова думка, 1988. – 220 с.
10. Исследование напряжений в барабане мельницы самоизмельчения МБ-90-30 методом электротензометрирования / А.В.Ягупов, Н.И. Сокур // Кривой Рог, 1976.- 5 е.- Деп. в Черметинформ. 27.09.76; № 97-76 Деп.