



Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian National Scientific Journal

№3 (95)



2016

Техніка

енергетика

транспорт АПК





**ТЕХНІКА,  
ЕНЕРГЕТИКА,  
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково– виробничого та навчального спрямування  
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

Заснований у 1997 році під назвою “Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту”.  
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.  
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації  
КВ № 16644– 5116 ПР від 30.04.2010 р..

*Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2016. – №3 (95) – 249 с.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 3 від 30.09.2016 р.)*

*Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.*

*Журнал є друкованим засобом масової інформації, який внесено до переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Додаток 12 до наказу Міністерства освіти і науки України 16.05.2016 № 515).*

**Національна редакційна колегія:**

**Головний редактор**

*Калетнік Г.М.* – д.е.н., проф., академік НААНУ, Вінницький національний аграрний університет

**Заступник головного редактора**

*Паламарчук І.П.* – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

**Члени редакційної колегії**

*Друкований М.Ф.* – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

*Анісімов В.Ф.* – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

*Іскович – Лотоцький Р.Д.* – д.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет

*Сивак І.О.* – д.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет

*Огородніков В.А.* – д.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет

*Бурдо О.Г.* – д.т.н., проф., академік АНТКУ, Одеська національна академія харчових технологій

*Гулько І.В.* – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

*Матвійчук В.А.* – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

*Цуркан О.В.* – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

*Булгаков В.М.* – д.т.н., проф., академік НААН, Національний університет біоресурсів і природокористування України

*Солона О.В.* – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

*Іванов М.І.* – к.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

*Кондратюк Д.Г.* – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

*Любін М.В.* – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

*Пришляк В.М.* – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

*Серета Л.П.* – к.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

*Веселовська Н.Р.* – д.т.н., проф., Вінницький національний аграрний університет

*Гевко Р.Б.* – д.т.н., проф., Тернопільський національний економічний університет

*Бандура В.М.* – к.т.н., доц., Вінницький національний аграрний університет

**Зарубіжні члени редакційної колегії**

*Володимир Крочко* – д.т.н., проф., Словацький аграрний університет (м. Нітра, Словачія)

*Януш Новак* – д.т.н., проф., Люблінський аграрний університет (м. Люблін, Польща)

*Маріан Веселовські* – д.т.н., проф., Люблінський природничий університет (м. Люблін, Польща)

*Зденко Ткач* – д.т.н., проф., Словацький аграрний університет (м. Нітра, Словачія)

*Семенс Івановс* – д.т.н., проф., Латвійський аграрний університет (м. Улброка, Латвія)

*Людвікас Шпокас* – д.т.н., проф., Університет Олександра Стулгинського (Литва)

*Марош Коренко* – д.т.н., проф., Словацький аграрний університет (м. Нітра, Словачія)

*Ян Франчак* – д.т.н., проф., Словацький аграрний університет (м. Нітра, Словачія)

*Володимир Юрча* – д.т.н., проф., Чеський університет сільськогосподарства (м. Прага, Чехія)

*Гржжина Езевська– Вітковська* – д.т.н., проф., Люблінський аграрний університет (м. Люблін, Польща)

Відповідальний секретар редакції **Цуркан О.В.**, кандидат технічних наук, доцент

Технічний редактор **Зозуляк О.В.**, Графічний дизайнер **Янович В.П.**

Редагування, корекція й переклад на іноземну мову **Матієнко О.С.**, **Марцінко Т.І.**

Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет, тел. 46– 00– 03

Сайт журналу: <http://tetapk.vsuau.org/>

Електронна адреса: [tehnovnu@mail.ru](mailto:tehnovnu@mail.ru)



## ЗМІСТ

## МАШИНОВИКОРИСТАННЯ У РОСЛИННИЦТВІ ТА ТВАРИННИЦТВІ

<i>Kaletnik H., Adamchuk V., Bulgakov V., Kyurchev V., Nadykto V.</i> <b>MAIN PROBLEMS IN THE FIELD OF AGRICULTURAL MECHANIZATION IN UKRAINE.....</b>	6
<i>Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Адамчук В.В., Борис М.М., Ігнат'єв Є.І.</i> <b>ВЛАСТИВОСТІ ГИЧКИ ЦУКРОВОГО БУРЯКА ПРИ ЇЇ ЗБИРАННІ.....</b>	13
<i>Барановський В. М., Пулька Ч.В., Паньків М.Р., Теслик В.В.</i> <b>ЕНЕРГООЩАДНИЙ СПОСІБ ЗБИРАННЯ ГИЧКИ КОРЕНЕПЛОДІВ .....</b>	21
<i>Головач І.В., Дерев'яно Д.А., Дерев'яно О.Д.</i> <b>ЗНИЖЕННЯ ТРАВМУВАННЯ НАСІННЯ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ГУМОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ОЧИСТКИ .....</b>	26
<i>Гришун А.В., Бабін І.А., Сінгаєвський В.П.</i> <b>ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МОБІЛЬНОГО ПОДРІБНЮВАЧА- РОЗДАВАЧА ГРУБИХ КОРМІВ.....</b>	31
<i>Любін М.В., Токарчук О.А., Єленіч М.П.</i> <b>РОЗШИРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРИГОТУВАННЯ КОРМОСУМІШІ ЗА ДОПОМОГОЮ СКРЕБКОВОГО ТРУБЧАСТОГО ТРАНСПОРТЕРА- ЗМІШУВАЧА.....</b>	35
<i>Павленко С.І.</i> <b>ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ ГНОЄ- КОМПОСТНОЇ СУМІШІ РОБОЧИМ ОРГАНОМ ЗМІШУВАЧА-ФОРМУВАЛЬНИКА БУРТІВ.....</b>	42
<i>Паламарчук І.П., Горбатюк Р.М., Зозуляк І.А.</i> <b>РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ З АКТИВАТОРОМ ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА.....</b>	48
<i>Паламарчук І.П., Похвалюк С.Г., Бандура В.М., Буряк М.М.</i> <b>КУЛЬТИВАТОР ДЛЯ СУЦІЛЬНОГО І МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ДО АДАПТОРА ДЛЯ МОТОБЛОКУ “МОТОР СІЧ”.....</b>	52
<i>Пришляк В.М., П'ясецький А.А., Бурлака С.А.</i> <b>ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ, АДАПТОВАНИХ ДЛЯ ЧАСТКОВИХ РЕЖИМІВ НАВАНТАЖЕННЯ .....</b>	57
<i>Пономаренко Н. О., Ільченко В.Ю., Яропуд В.М., Усенко А.І.</i> <b>АРГУМЕНТАЦІЯ СЕРЕДНЬОЇ ВІДСТАНІ ПРОБІГУ ПЕРЕСУВНИХ ЗАСОБІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН.....</b>	63
<i>Спірін А.В., Твердохліб І.В., Лановий М.М.</i> <b>МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОДУКТИВНОСТІ МАШИНИ ДЛЯ ВИТИРАННЯ НАСІННЯ.....</b>	67
<i>Груханська О.О.</i> <b>ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ПОШКОДЖЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ КОМБІНОВАНОЇ ОЧИСНОЇ СИСТЕМИ.....</b>	76
<i>Цуркан О.В., Герасимов О.О., Коломієць О.С., Присяжнюк Д.В.</i> <b>ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ОЗОНУ В ПІСЛЯЗБИРАЛЬНІЙ ОБРОБЦІ ЗЕРНА.....</b>	80
<i>Шленський О.Б., Серєда Л.П.</i> <b>ТЕХНОЛОГІЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ «СТРИП-ТІЛ» - ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ ПОРІВНЯНО З ІНШИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ.....</b>	85

## ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

<i>Гулько І.В., Коваль Л.Г.</i> <b>ЕНЕРГООЩАДНІ БЕЗКОНТАКТНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....</b>	89
--	----

## ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ ТА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

<i>Бандура В.М.</i> <b>ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО ТА МІКРОХВИЛЬОВОГО ПОЛЯ В</b>	
---	--



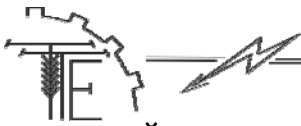
<b>ПРОЦЕСИ ПЕРЕРОБКИ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР</b> .....	94
<i>Бандура В.М., Коляновський О.М.</i>	
<b>ПОСИЛЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ОЛІЇ ІЗ РІПАКУ</b> .....	102
<i>Власенко В.В., Бондар М.М., Семко Т.В., Соломон А.М.</i>	
<b>ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРЧОВІ ПРОДУКТИ З НАПОВНЮВАЧАМИ</b> .....	106
<i>Власенко В.В., Крижак С.В., Петлюк Л.А., Крижак Л.М.</i>	
<b>ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ М'ЯСНОГО ФАРШУ З СТАРТОВОЮ КУЛЬТУРОЮ РІЦІ-47</b> .....	110
<i>Дзись В.Г., Ярошенко Л.В., Олійник А.І.</i>	
<b>СУШАРКА З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ СТРІЛІНГА</b> .....	114
<i>Крижак С.В., Власенко В.В., Коляновська Л.М., Новгородська Н.В.</i>	
<b>ЗМІНИ ДИНАМІКИ НАКОПИЧЕННЯ ЛЕТКИХ ЖИРНИХ КИСЛОТ, ВМІСТУ ВОЛОГИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ У ВИРОБНИЦТВІ КОВБАС</b> .....	117
<i>Котов Б.І., Степаненко С.П.</i>	
<b>ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТИТЕЧІЙНОЇ ПОДАЧІ МАТЕРІАЛУ В ГОРИЗОНТАЛЬНИЙ ПОВІТРЯНИЙ ПОТІК</b> .....	121
<i>Паламарчук І.П., Янович В.П., Купчук І.М.</i>	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗЕРНОВОЇ КРОХМАЛОВМІСНОЇ СИРОВИНИ ЯК ОБ'ЄКТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДІЇ СПИРТОВОГО ВИРОБНИЦТВА</b> .....	126
<i>Паламарчук І.П., Янович В.П., Купчук І.М.</i>	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНОВОЇ КРОХМАЛЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ СПИРТОВОГО ВИРОБНИЦТВА</b> .....	130
<i>Пришляк В.М., Завальнюк П.Г.</i>	
<b>НАУКОВО ОБҐРУНТОВАНІ СПОСОБИ, МЕТОДИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ МОДЕЛІ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ НА СУШІННЯ ПРОДОВОЛЬЧОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ</b> .....	135
<i>Солона О.В., Котов Б.І., Спирін А.В., Калініченко Р.А.</i>	
<b>СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ТЕПЛОВОЇ І МЕХАНІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ НА КОРМ</b> .....	139

## МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА

<i>Веселовська Н.Р., Яремчук О.А.</i>	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО СЛІДКУЮЧОГО ПРИВОДУ З ЧОТИРЬОХ ЩІЛНИМ ДРОСЕЛЬНИМ РОЗПОДІЛЬНИКОМ</b> .....	143
<i>Дубчак В.М.</i>	
<b>МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ОДНІЙ ПРИКЛАДНІЙ ЗАДАЧІ</b> .....	151
<i>Краєвський В.О.</i>	
<b>АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ МАКСИМІЗАЦІЇ НАКОПИЧЕНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ БАГАТОСТУПЕНЕВОМУ ГАРЯЧОМУ ДЕФОРМУВАННІ</b> .....	155
<i>Матвійчук В.А., Бубновська І.А.</i>	
<b>АНАЛІЗ СХЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ КОМПРЕСОРНИХ ЛОПАТОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОПЕРАЦІЇ ГАРЯЧОГО ВАЛЬЦЮВАННЯ</b> .....	160
<i>Матвійчук В.А., Явдик В.В.</i>	
<b>РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ВИРОБІВ З ДНИЦАМИ І ГОРЛОВИНАМИ</b> .....	166
<i>Найко Д.А.</i>	
<b>РОЗВИТОК ТЕОРІЇ АПРОКСИМАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ ТИПУ ПОЛІНОМІВ БЕРНШТЕЙНА</b> .....	171
<i>Штуць А.А., Матвійчук В.А.</i>	
<b>КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ ТРУБНИХ ЗАГОТОВОК</b> .....	178

## ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

<i>Веселовська Н.Р., Гуцаленко О.В.</i>	
<b>ВОДНЕВЕ ПАЛИВО ДЛЯ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ – АЛЬТЕРНАТИВА</b>	



<b>ТРАДИЦІЙНОМУ</b> .....	185
<i>Друкований М.Ф., Алексевич І.М., Ковальова І.М.</i>	
<b>ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ БІОДИЗЕЛЯ</b> .....	190
<i>Комаха В.П., Рябошапка В.Б.</i>	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ДВИГУНА ТА ТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАКТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА НА ОСНОВІ ТЯГОВО-ПОТУЖНІСНОГО БАЛАНСУ</b> .....	193
<i>Лежнюк П.Д., Гунько І.О., Рубаненко О.Є., Малогулко Ю.В.</i>	
<b>ОПТИМІЗАЦІЯ СЕКЦІОНУВАННЯ В ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З РІЗНОТИПНИМИ РОЗПОДІЛЕНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ</b> .....	199
<i>Прядько В.А., Рубаненко О.О.</i>	
<b>ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ МЕТОДИ, ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВЕРМИКОПОСТУВАННЯ ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ПОБУТУ</b> .....	206
<i>Sapan Eminov</i>	
<b>FRUCTOSE CONVERSION TO 5-HYDROXYMETHYLFURFURAL (HMF) CATALYZED BY METAL HALIDES IN IONIC LIQUIDS</b> .....	211
<i>Стадник М.І., Рубаненко О.О., Бондаренко С.В.</i>	
<b>ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА СОНЯЧНІЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ВІДНОСНО ЇЇ ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ</b> .....	213
<i>Хомяковський Ю.Л.</i>	
<b>СОЦІАЛЬНІ ТА ПЕДАГОГІЧНІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ</b> .....	221
<i>Шевчук О.Ф.</i>	
<b>ПЛІВКИ <math>C_{60}</math>, ЯК ЕФЕКТИВНІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ</b> .....	226
<i>Яцковський В.І., Яцковська Р.О.</i>	
<b>ВИКОРИСТАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ПРИ ВИКОНАННІ ТЕПЛООВОГО РОЗРАХУНКУ ДВИГУНА ПРИ РОБОТІ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДАХ ПАЛИВА</b> .....	231
<b>ТРАНСПОРТНІ ТА ТРАНСПОРТНО - ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ</b>	
<i>Любін М.В., Токарчук О.А., Яропуд В.М.</i>	
<b>ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ КРУТОПОХИЛЕНИХ ГВИНТОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ</b> .....	235
<i>Паладійчук Ю.Б., Тарасюк Ю.М.</i>	
<b>ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ГВИНТОВИХ КОНВЕЄРІВ</b> .....	241
<b>АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ</b>	
<i>Стадник Н.И.</i>	
<b>МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В АПК</b> .....	245

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ  
ТРУБНИХ ЗАГОТОВОК**

*Штуць Андрій Анатолійович* аспірант  
*Матвійчук Віктор Андрійович* д.т.н., професор  
Вінницький національний аграрний університет  
*Shtuts A.*  
*Matviichuk V.*  
Vinnitsa National Agrarian University

**Анотація:** в статті модельовано та проаналізовано особливості локального деформування, які визначають штампування обкочуванням як самостійний вид обробки тиском. Програма DEFORM-3D дає нам можливість змодельовати процес, а також дозволяє встановити розподіл компонент напружень, деформацій та температур в досліджуваних матеріалах.

**Ключові слова:** штампування обкочуванням, комп'ютерне моделювання процесу, DEFORM-3D, напружено-деформований стан, деформування, формоутворення.

**Вступ**

**Метою моделювання:** є аналіз напружено-деформованого стану (НДС) та характеру формозміни трубних заготовок в процесі штампування обкочуванням (ШО) визначення енергосилових параметрів процесу, а також геометрії деформуючого інструменту, що забезпечують отримання якісного виробу з заданими розмірами.

**Постановка задачі:** експериментальні дослідження в реальному виробництві мають ряд недоліків: великі енерговитрати, неможливість або труднощі мобільної зміни параметрів процесу в широких діапазонах, ймовірність аварії та поломки обладнання. Перевага комп'ютерного моделювання полягає в тому, що результати дослідження можна отримати безпосередньо на комп'ютері.

Дослідження процесу ШО трубних заготовок між жорстким опорним кільцем (матрицею) та конічним валком виконано за допомогою моделювання в програмному комплексі DEFORM-3D [2]. Програмний комплекс DEFORM-3D має вбудовані засоби прогнозування руйнування при холодному штампуванні. Критерієм «за замовчуванням» є критерій Cockroft @ Latham, що розраховується за формулою [2]:

$$D \int_0^{\bar{\epsilon}^-} \frac{\sigma^*}{\sigma_u} = d \bar{\epsilon}^- \quad (1.1)$$

$\sigma^*$  - максимальне головне напруження;  $\sigma_u$  - інтенсивність напружень по Мізесу;  $d \bar{\epsilon}^-$  - накопичення інтенсивності деформацій.

Роботи Бріджмена, Смирнова-Аляева, Колмогорова та ін. [2] показали, що накопичена деформація в момент руйнування в максимальній мірі залежить від жорсткості напруженого стану  $\eta$ ,

$$\eta = \frac{3 \sigma_m}{\sigma_u} \quad (1.2)$$

де -  $\sigma_m = 1 / 3 \sigma_{ii}$  – середнє напруження;  $\sigma_u$  - інтенсивність напружень по Мізесу.

Досліджувані заготовки моделювалися із забезпеченням відношення  $h/d = 2,49998$  [1].

Матеріал – пластичний свинець марки Lead [70-600F(20-300C)], який вибирався із наявних в програмному комплексі бібліотек матеріалів і служив моделлю матеріалу при гарячому деформуванні. Змодельований зразок розбивався на сукупність скінченних елементів із певним зв'язком. Тобто, на зразку моделювалась сітка скінченних елементів з наступними параметрами: свинець марки Lead [70-600F(20-300C)], тип сітки – об'ємна, тип скінченного елемента – тетраедр, кількість елементів – 20000, кількість вузлів – 3396, кількість поверхневих багатокутників – 3760, мінімальний розмір елемента – 3,51497 мм, максимальний розмір елемента – 7,02994 мм.

В якості фізичних співвідношень між напруженнями та деформаціями використовували співвідношення теорії течії, зміцнення матеріалу – ізотропне, структура – нормалізована. Параметри тертя вибиралися наступними: тип – shear, коефіцієнт – 0,3. Швидкість переміщення головного





інструменту валка складає 0.8 мм/с, обертання приводного інструменту 8 об/хв. ШО проводилось до етапу досягнення висоти зразка 50 мм, при початковій висоті 100 мм. Час деформування – 500 с. Температура проведення процесу деформування – 20°C. Розрахунок процесу в програмному комплексі поділений на 400 кроків.

Методика вибору граничних умов в програмному комплексі DEFORM - 3D під час чисельного моделювання процесу ШО трубних заготовок.

На рис. 1.1 а., 1.1 б. наведено експериментальні моделі жорсткого конічного валка, та жорсткого опорного кільця (матриця)

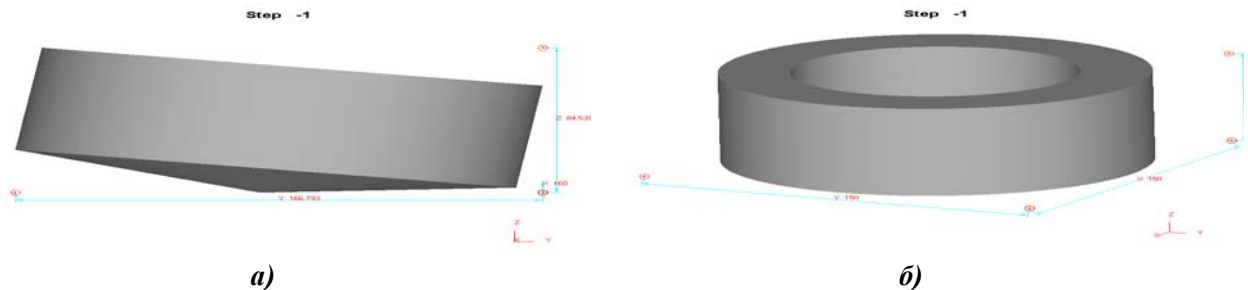


Рис. 1.1. Представлена експериментальна модель жорсткого конічного валка а), та експериментальна модель жорсткого опорного кільця (матриця) б)

В результаті моделювання отримали картини формозміни заготовки під час деформування (рис. 1.2.), розподілення по об'єму зразка накопиченої деформації (рис. 1.3.), інтенсивності напружень (рис. 1.4.) та накопичених пошкоджень (рис. 1.5.) [3]. Пошкодження в програмному комплексі DEFORM - 3D обчислюються відповідно до моделі Cockroft-Latham [4]:

$$\int_0^{\varepsilon_u} \frac{\bar{\sigma}_{\max}}{\sigma_u} \cdot d\varepsilon_u = C, \quad (1.3.)$$

де  $\bar{\sigma}_{\max}$  – максимальне головне розтягуюче напруження;  $\sigma_u$  – інтенсивність напружень по Мізесу;  $C$  – константа матеріалу.

Для отримання та аналізу результатів моделювання НДС в меридіональному перерізі заготовки, скористалися спеціальними командами в постпроцесорі DEFORM-3D. Отримані результати представлено на рис. 1.6.

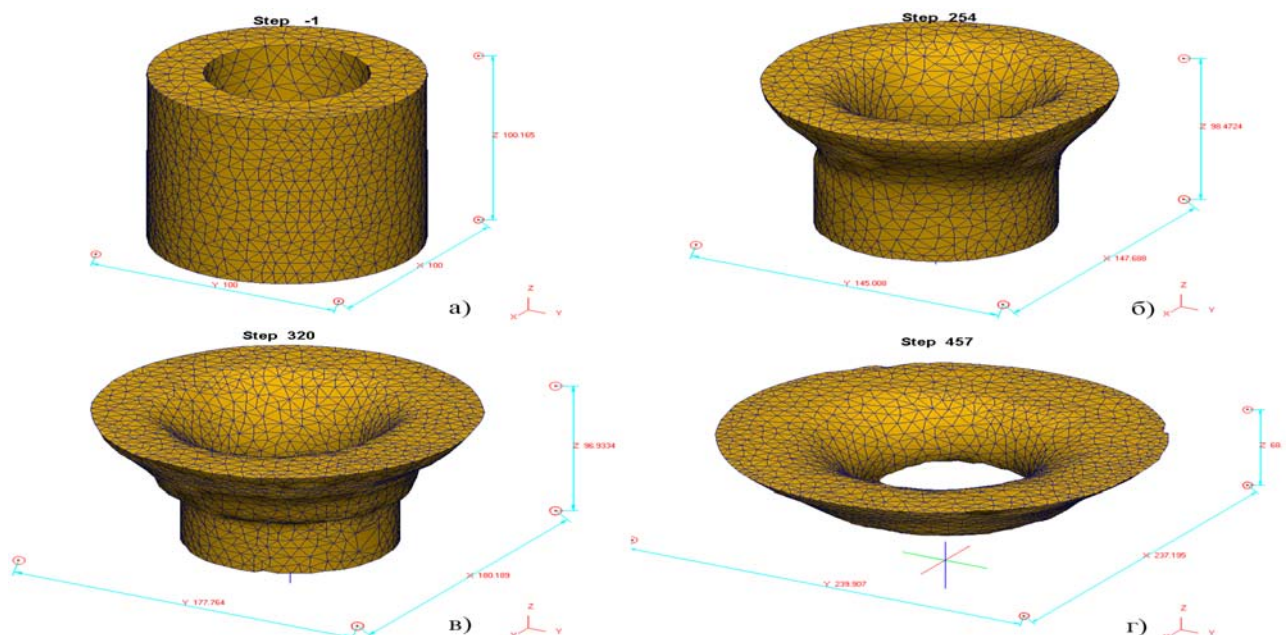


Рис. 1.2. Формозміна трубної заготовки при ШО: а) початковий етап; б) на 254 кроці ШО; в) на 320 кроці ШО; г) кінцевий крок деформування

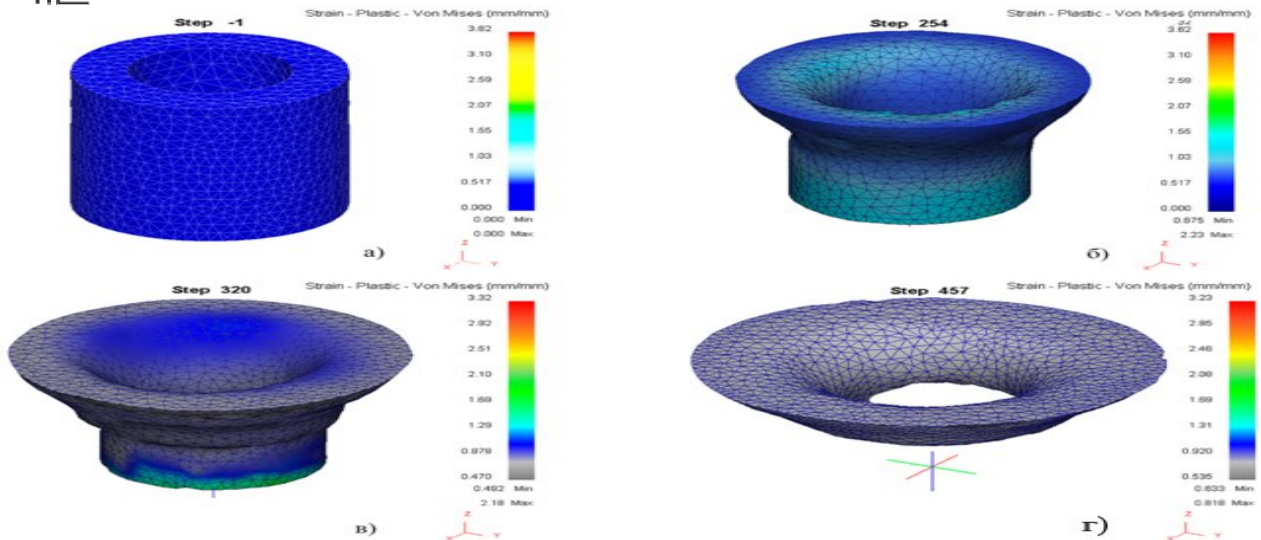


Рис. 1.3. Розподілення накопиченої деформації в об'ємі трубної заготовки при ШО:  
а) початковий етап; б) на 254 кроці ШО; в) на 320 кроці ШО; г) кінцевий крок деформування

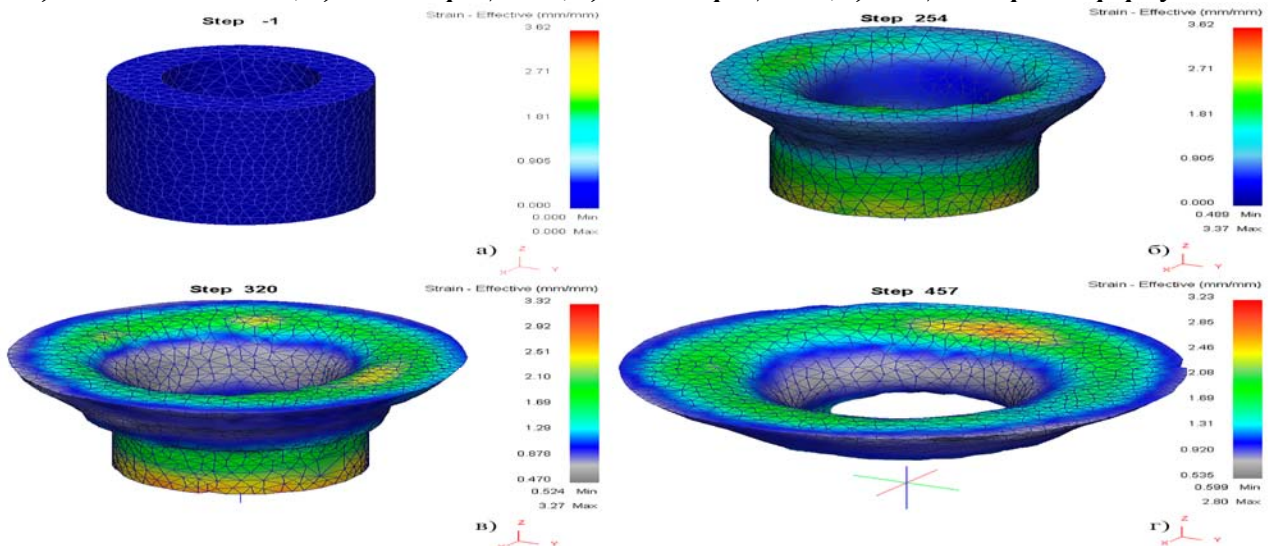


Рис. 1.4. Розподілення інтенсивності напружень по об'єму трубної заготовки при ШО:  
а) початковий етап; б) на 254 кроці ШО; в) на 320 кроці ШО; г) кінцевий крок деформування

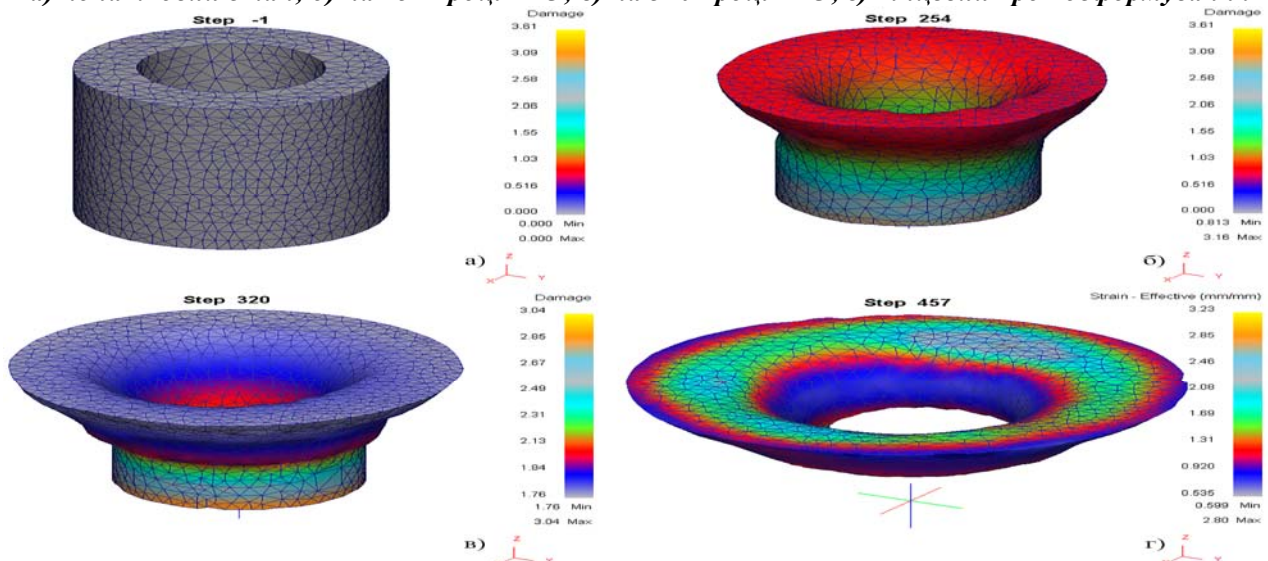


Рис. 1.5. Розподілення накопичення пошкодження в об'ємі трубної заготовки при ШО:  
а) початковий етап; б) на 254 кроці ШО; в) на 320 кроці ШО; г) кінцевий крок деформування



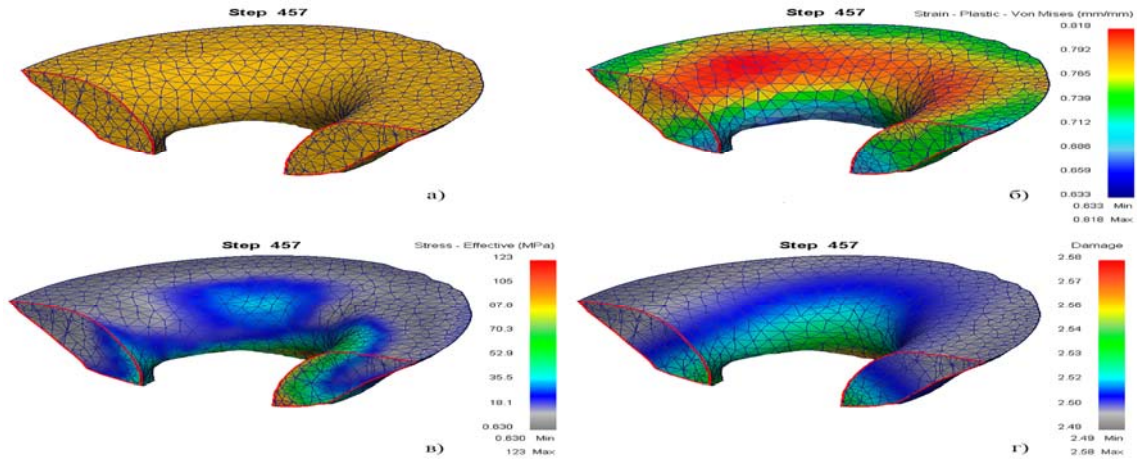


Рис. 1.6. Формозміна а) та розподілення в меридіональному перерізі трубної заготовки на кінцевому етапі ШО накопиченої деформації б); інтенсивності напружень в); накопичених пошкоджень г)

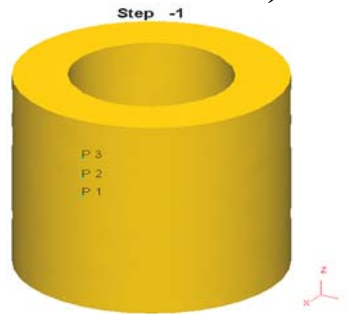


Рис. 1.9. Розташування досліджуваних точок трубних заготовок під час чисельного моделювання ШО

Таблиця 1.1

Значення координат досліджуваних точок трубних заготовок

№ точки	X, мм.	Y, мм.	Z, мм.
1	50	0	70
2	50	0	80
3	50	0	90
4	0	0	40

Траєкторії деформацій, що представлені на рис. 1.10. [3], побудовані в пакеті прикладних програм **Microsoft Office Excel**, Maple на основі табличних значень компонент напружень та накопиченої деформації, отриманих в пакеті DEFORM - 3D. Показник напруженого стану  $\eta$  визначали за допомогою виразу [5]:

$$\eta = \frac{I_1(T_\sigma)}{\sqrt{3} \cdot I_2(D_\sigma)} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_u} \quad (1.4.)$$

де  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – головні напруження;  $\sigma_u$  – інтенсивність напружень:

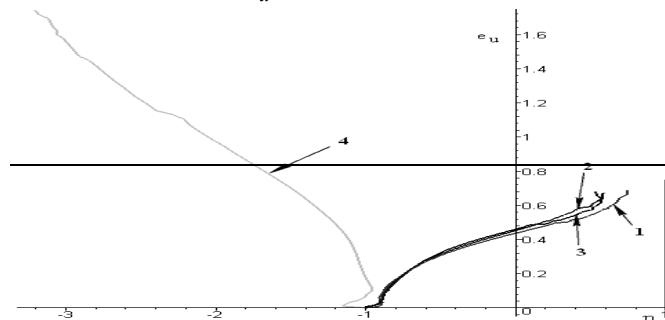


Рис. 1.10. Траєкторії деформацій для різних точок трубної заготовки побудованих за результатами чисельного моделювання в програмному комплексі DEFORM - 3D



Підвищення точності визначення граничних умов під час чисельного моделювання здійснювали відповідно до результатів експериментально-аналітичного моделювання НДС трубних заготовок процесу ШО.

Сутність методики полягає у підборі таких параметрів чисельного моделювання, що приводять до отримання траєкторій деформацій (1.5.)

$$\varepsilon_u = \varepsilon_u(\eta), \quad (1.5.)$$

для точки бічної поверхні, ідентичних результатам експериментально-аналітичного моделювання [3].

Під час моделювання програмним комплексом DEFORM-3D було запропоновано варіанти вибору типу зразка: тверде тіло, пластичний, пружний, та пружно-пластичний [4].

Сітку скінченних елементів задавали наступними параметрами: тип сітки – об’ємна, тип скінченного елемента – тетраедр, кількість елементів варіювали в межах  $20000 \div 26229$ . Обчислювальні експерименти показали, що варіювання кількості елементів у межах  $20000 \div 26229$  не здійснює помітного впливу на результати моделювання, хоча зменшуються коливання графіків деформацій, напружень та траєкторій деформацій, але при цьому збільшується час розрахунку в 10 раз – із 18 хв. до близько 18 годин. Тому під час чисельного моделювання використовували наступні значення параметрів: кількість елементів рівною 20000, мінімальний розмір елемента – 3,100506 мм, співвідношення між максимальним та мінімальним розміром елемента дорівнює 2. DEFORM-3D це значення було скориговано до 19976, при цьому обчислено кількість вузлів – 2484, кількість поверхневих багатокутників – 4016.

В якості фізичних залежностей використовували співвідношення теорії течії, зміцнення матеріалу – ізотропне. Умови тертя вважалися відповідними типу – shear.

ШО проводилось до етапу переміщення головного інструменту на 50 мм. Час деформування – 500 с. Температура проведення процесу деформування –  $20^\circ\text{C}$ . Розрахунок процесу в програмному комплексі поділений на 457 крок. Методика вибору граничних умов в програмному комплексі DEFORM 3D під час чисельного моделювання процесу ШО.

Результати застосування методики підвищення точності визначення граничних умов під час 3D моделювання із використанням результатів експериментально-аналітичного моделювання НДС трубної заготовки при ШО відповідно до реальних умов формозмінення проілюстровано на рис. 1.11. – 1.13. Для наглядного порівняння результатів моделювання та експериментального дослідження на рис. 1.11. представлено заготовку під час проведення експерименту та в результаті моделювання. Із представлених на рис. 1.13. траєкторій деформацій, які побудовано відповідно до результатів експериментального дослідження та чисельного моделювання трубної заготовки, видно, що розбіжність між ними не перевищує природної похибки розсіювання експериментальних даних.

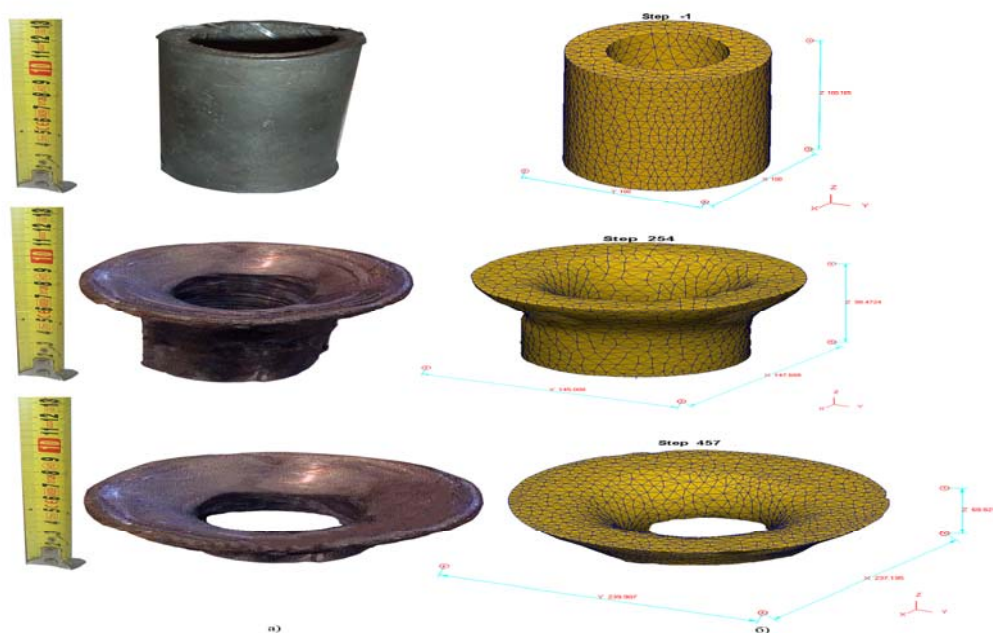


Рис. 1.11. ШО свинцевого заготовки №5: а) експериментальне дослідження; б) моделювання в DEFORM - 3D



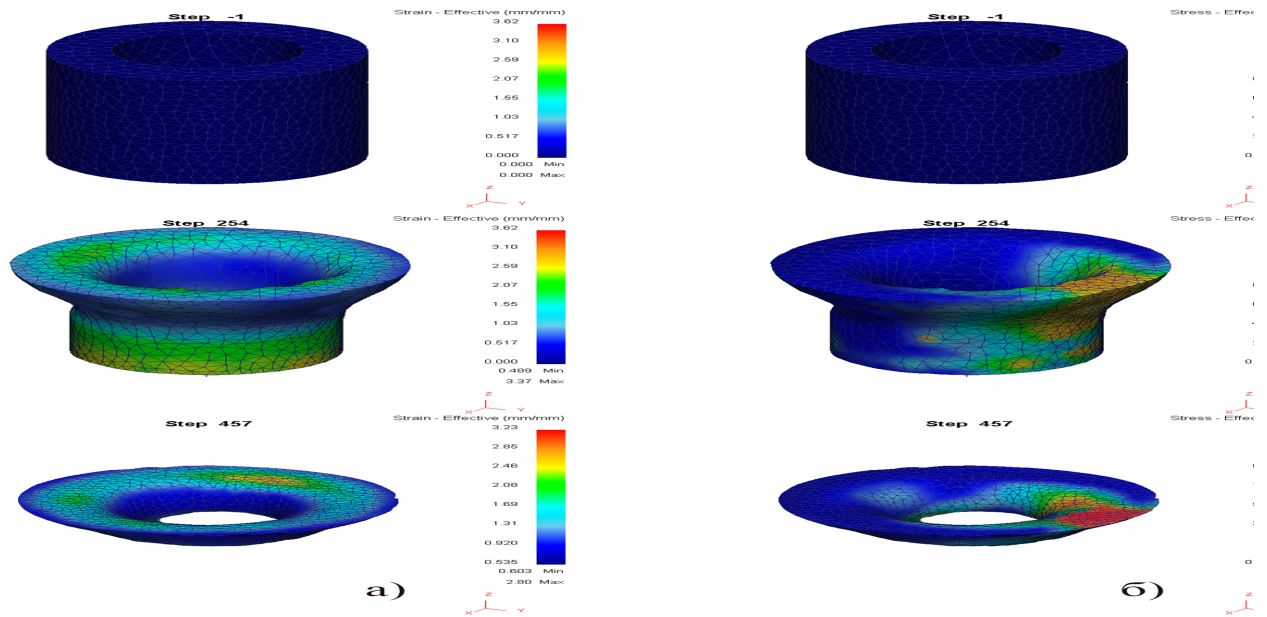


Рис. 1.12. Розподілення накопиченої деформації а) інтенсивності напружень б) під час моделювання процесу ШО свинцевого зразка №5

Тому для отримання результатів чисельного моделювання адекватних реальним умовам формозмінення пропонується підхід та методика підвищення точності визначення граничних умов під час чисельного моделювання із використанням результатів експериментально-аналітичного моделювання НДС трубних заготовок при ШО, який полягає в тому, що результати експериментального дослідження покладаються в основу визначення граничних умов згаданої системи для проведення 3D моделювання зразка із забезпеченням необхідних умов деформування [1].

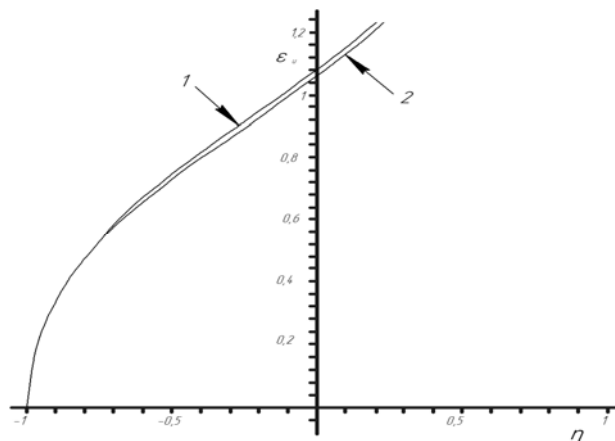


Рис. 1.13. Траєкторії деформації бічної поверхні свинцевої заготовки №5: 1 – експериментальне дослідження; 2 – моделювання в програмному комплексі DEFORM 3D

### Висновки

Проведено комп'ютерне моделювання процесу ШО трубних заготовок за допомогою пакета прикладних програм DEFORM-3D, заснованого на використанні методу елементів, за різними варіантами.

Комп'ютерним моделюванням визначено параметри НДС, використання ресурсу пластичності, кінцева геометрія виробу, розподіл питомих зусиль на поверхні контакту заготовки з валком, а також залежність зусилля процесу ШО від переміщення матеріалу в матриці.

Подальший розвиток процесів можливий шляхом розробки нових технологічних схем на основі аналізу кінематики деформування та призначення сприятливих технологічних параметрів з урахуванням їх впливу на НДС і деформівність матеріалу заготовок.

### Список літератури

1. Матвийчук В.А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе



анализа деформируемости металлов: Монография / В.А. Матвийчук, И.С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 268 с.

2. Паришин В.С. Практическое руководство к программному комплексу deform-3d: учебное пособие / В.С. Паришин, А.П. Карамышев., И.И. Некрасов., А.И. Пугин., А.А. Федулов. Екатеринбург: УрФУ, 2010.

3. Добранюк Ю.В. Моделивання за допомогою програмного комплексу DEFORM 3D напружено-деформованого стану на бічній поверхні циліндричного зразка під час торцевого стиснення / Ю.В. Добранюк, Л.І. Алієва, В.М. Михалевич // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. — Краматорск : ДГМА. — 2010. — №4(25). — С. 3—10.

4. Песин А.М. Моделирование формоизменения поверхностных трещин непрерывнолитого сляба при черновой прокатке на широкополосном стане [Электронный ресурс] / А.М. Песин, В.М. Салганик, Д.О. Пустовойтов. — 3 с. — Режим доступа до роботи: [http://www.tesis.com.ru/infocenter/downloads/deform/deform\\_es10\\_maggtu2.pdf](http://www.tesis.com.ru/infocenter/downloads/deform/deform_es10_maggtu2.pdf).

5. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В.А. Огородников. — К. : УМК ВО, 1989. — 152 с.

### References

1. Matviychuk V.A. Sovershenstvovanye protsessov lokalnoi rotatsyonnoi obrabotky davleniyem na osnove analiza deformiruemosti metallov: Monografya / V.A. Matviychuk, Y.S. Alyev. — Kramatorsk: DHMA, 2009. — 268 s.

2. Parshin B.C. Prakticheskoe rukovodstvo k programnomu kompleksu deform-3d: uchebnoe posobie / B.C. Parshin, A.P. Karamyishev., I.I. Nekrasov., A.I. Pugin., A.A. Fedulov. Ekaterinburg: UrFU, 2010.

3. Dobranyuk Yu.V. Modelyuvannya za dopomogoyu programnogo kompleksu DEFORM 3D napruzhenodeformovanogo stanu na bichny poverhni tsilindrichnogo zrazka pid chas tortsevogo stisnennya / Yu.V. Dobranyuk, L.I. AliEva, V.M. Mihalevich // Obrabotka metallov davleniem: sbornik nauchnyih trudov. — Kramatorsk :DGMA. — 2010. — №4(25). — S. 3—10.

4. Pesin A.M. Modelirovanie formoizmeneniya poverhnostnyih treschin nepreryivnolitogo slyaba pri chernovoy prokatke na shirokopolosnom stane [Elektronniy resurs] / A.M. Pesin, V.M. Salganik, D.O. Pustovoytov. — 3 s. — Rezhim dostupu do roboti: [http://www.tesis.com.ru/infocenter/downloads/deform/deform\\_es10\\_maggtu2](http://www.tesis.com.ru/infocenter/downloads/deform/deform_es10_maggtu2).

5. Ogorodnikov V.A. Deformiruemost i razrushenie metallov pri plasticheskom formoizmenenii / V.A. Ogorodnikov. — K. : UMK VO, 1989. — 152 s.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ШТАМПОВКИ ОБКОЧУВАНИЯМ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК

**Аннотация:** в статье смоделирован и проанализированы особенности локального деформирования, которые определяют штамповки обкочуваниям как самостоятельный вид обработки давлением. Программа DEFORM-3D дает нам возможность смоделировать процесс, а также позволяет установить распределение компонент напряжений, деформаций и температур в исследуемых материалах.

**Ключевые слова:** штамповка обкочуваниям, компьютерное моделирование процесса, DEFORM-3D, напряженно-деформированное состояние, деформирование, формообразования.

## COMPUTER SIMULATION OF STAMPING OBKOCHUVANNYAM ROUND BILLETS

**Summary:** this article is modeled and analyzed the features of the local deformation, which define forming obkochuvanniyam as an independent pressure treatment. DEFORM-3D software enables us to simulate the process and allows you to install the distribution component of stresses, strains and temperature in the material.

**Keywords:** punching obkochuvanniyam, computer modeling process, DEFORM-3D, the stress-strain state, deformation, forming.