

**Ярошенко Л.В.**

к.т.н., доцент

**Вінницький національний  
аграрний університет****Yaroshenko L.****Vinnitsia National Agrarian  
University****УДК 621.9.048.6.****DOI: 10.37128/2306-8744-2019-3-5**

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ДИНАМІЧНОГО НАПОРУ ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО РУХУ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА В ТОРОІДАЛЬНИХ КОНТЕЙНЕРАХ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН**

*При роботі вібраційних технологічних машин для обробки деталей з сипучим робочим середовищем у контейнері, що вібрує, окремі частинки цього середовища здійснюють хаотичний рух, а вся маса сипучого середовища здійснює циркуляційний рух який чинить динамічний вплив на поверхню оброблюваних деталей у вигляді сумарної дії безлічі мікроударів окремих частинок. Однак, швидкість переміщення і динамічний вплив частинок робочого середовища не однакові в різних зонах контейнера. Розподіл динамічного напору циркуляційного руху робочого середовища в тороїдальних контейнерах вібраційних становить значний практичний інтерес при розробці конструкцій таких вібраційних машин та технологічних процесів їх роботи.*

*Експериментально досліджено розподіл динамічного напору робочого середовища по перетину тороїдального контейнера вібраційних технологічних машин із електромеханічним віброприводом та вертикальним дебалансним валом, що дозволяє визначити найвигідніші місця розташування оброблюваних деталей під час їх віброобробки виходячи з умови ефективності і якості обробки, а також максимуму утилізації кінетичної енергії циркуляційного руху робочого середовища у разі її використання для додаткового примусового руху оброблюваних деталей. Циркуляційний рух створює найбільший динамічний напір у нижніх зонах контейнера, а в міру віддалення від поверхні контейнера динамічний напір поступово слабшає. На величину і характер розподілу динамічного напору робочого середовища впливає також і напрямок її циркуляційного руху. У разі притиснення перемішувальним рухом середовища до зовнішнього циліндра робочої поверхні, тобто до точок поверхні контейнера що мають велику амплітуду вертикальних коливань, зона з високим динамічним напором є більшою, ніж у разі притиснення перемішувальним рухом середовища до внутрішнього циліндра робочої поверхні тороїда, тобто до точок поверхні контейнера що мають меншу амплітуду вертикальних коливань, при цьому зменшується і абсолютна величина напору.*

**Ключові слова:** вібраційна обробка, циркуляційний рух робочого середовища, динамічний напір.

**Постановка проблеми.** В даний час одним з найбільш ефективних і поширених методів фінішної обробки деталей є вібраційна обробка (ViO) або обробка деталей вільними

тілами без жорсткого кінематичного зв'язку між ними, під впливом вібрації робочої камери. Широкому впровадженню вібромашин сприяє універсальність, широкий діапазон технологічних



можливостей, що дозволяє отримувати високу якість поверхонь при великій рівномірності і стабільності обробки в поєднанні з можливостями обробки великої номенклатури деталей складної конфігурації. При цьому вібраційні машини і пристрої мають, як правило, просту конструкцію, прості в експлуатації і обслуговуванні при великій продуктивності за рахунок одночасної обробки великих партій деталей.

У ході ВіО, через відсутність жорсткого кінематичного зв'язку між деталлю і інструментом, розподіл швидкостей руху окремих частинок під дією вібрації носить стохастичний характер, в результаті чого, робоче середовище приймає форму деталі і обробляє всі її поверхні відразу. Хаотичність руху окремих частинок сипучого робочого середовища пояснюється складним характером її руху в контейнері, що вібує, наявністю пружних хвиль стиснення і розтягування в вертикальному і горизонтальному напрямках в перетині контейнера [1, 2, 3], а також зіткненням частинок, при передачі ударних імпульсів. Незважаючи на хаотичність руху окремих частинок, вся маса сипучого середовища здійснює циркуляційний рух. Під дією вібрації зі змінними прискореннями, поряд з циркуляційним рухом робочого середовища, виникає динамічний вплив (тиск, напір) на поверхню оброблюваних деталей у вигляді сумарної дії безлічі мікроударів окремих частинок. Швидкість переміщення і динамічний вплив частинок робочого середовища не однакові в різних зонах контейнера. Найбільша швидкість частинок робочого середовища відзначається в верхніх шарах, в той же час інтенсивність обробки (знімання металу з поверхні оброблюваних деталей) в цій зоні найменша. Найбільший тиск і сила мікроударів частинок робочого середовища відзначається [1, 2, 4] в нижніх шарах контейнера поблизу її стінок, в цих же зонах і інтенсивність обробки найбільша.

Інтенсивність ВіО залежить від її режимів, фізико-механічних властивостей робочого середовища і оброблюваних деталей. До числа основних параметрів робочих режимів ВіО слід віднести: характер (траєкторію, частоту і амплітуду) коливань робочої камери (контейнера) і частинок робочого середовища, їх швидкості і прискорення, силу мікроударів, контактний тиск, напруги і температури, що виникають в зоні дії мікроударів, середні тиск і температура в робочій камері.

Вплив на оброблювану деталь одночасно великої кількості мікроударів в різних напрямках, забезпечує досить рівномірну обробку всіх поверхонь деталі, що контактують з робочого середовищем. Динамічний вплив робочого середовища і величина сил

мікроударів окремих її частинок зростає зі збільшенням амплітуди і частоти коливань, глибини занурення, розмірів і щільності частинок робочого середовища і в міру наближення до стінок робочого контейнера. Передача енергії від віброуючого контейнера вглиб сипучого середовища при значній висоті шару, відбувається за рахунок зіткнення між частинками. Ударний імпульс від частинок, які безпосередньо прилягають до стінок контейнера, передається вищерозміщеним шарам робочого середовища, які передають її наступним шарам і т.д. При цьому відбувається згасання амплітуди і відповідно прискорення вібрації частинок робочого середовища, за рахунок втрати енергії на роботу з подолання сил тертя, не пружної деформації і здійснення корисної роботи. Глибина проникнення ударних імпульсів при постійній величині віброприскорення зростає при збільшенні амплітуди коливань і зменшенні частоти і навпаки, зменшується при зростанні частоти і зменшенні амплітуди. Це пояснюється тим, що процес поширення коливань по висоті шару є релаксаційним процесом, протікання якого потребує певного часу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В результаті аналізу робіт [1, 4, 5] в яких досліджувалося взаємодія вільної абразивної частинки з поверхнею оброблюваної деталі, можна зробити висновок про наявність трьох основних механізмів знімання металу, які діють одночасно: сколювання, мікрорізання і стирання. Сколювання відбувається, в разі якщо частинка робочого середовища, що володіє певною кінетичною енергією, вдаряється об оброблювану поверхню деталі під кутом близьким до 90°. У цьому випадку поверхні деталей з крихких матеріалів можуть руйнуватися від напруги відриву, а поверхневий шар інших деталей деформується (зміцнюється в наслідок наклепу) або на поверхнях деталей з пластичних матеріалів можлива поява глибоких вибоїн і подряпин.

Мікрорізання відбувається при досить сприятливих умовах утворення стружки, при певній величині співвідношенні нормальних і тангенціальних напруг, що виникають при дії одиничних абразивних зерен на оброблювану поверхню деталі. Стирання відбувається при взаємному переміщенні деталей і часток робочого середовища під малим кутом, тобто при майже паралельному переміщенні. Інтенсивність знімання металу при стиранні вельми незначна і не є визначальною за величиною металознімання, але є домінуючою при чистових режимах обробки, що вимагають малої величини шорсткості поверхні.

Вібраційне переміщення або виникнення спрямованого в середньому руху тіл, за рахунок ненапрямлених в середньому коливань дій, є



основою багатьох технологічних процесів: від вібраційного транспортування окремих тіл і сипучих матеріалів до оздоблювально-зачистної обробки деталей у машинобудуванні. Транспортуючий або циркуляційний рух шару сипучого середовища (технологічного завантаження) на віброуючомувантажесучому органі або контейнері може виникнути при здійсненні ним вібраційного або хвильового руху [5, 6]. В обох випадках виникнення вібраційного руху шару сипучого середовища пов'язано з асиметрією сил тертя її частинок об поверхню вантаженесучого органу або асиметрією сил інерції, щовиникають при його коливаннях. При цьому точки поверхні вантаженесучогооргануколиваються щодо деякого центру без їх спрямованого переміщення в цілому за період одного коливання. Інтенсивність і траєкторії руху частинок сипучого середовища значною мірою залежать від форми і розмірів вантаженесучого органу або контейнера, а також від траєкторії, частоти і амплітуди коливань останнього.

Для вібраційного руху жорсткого вантаженесучого органу характерні поступальні коливання, при яких всі точки його поверхні мають однакову форму траєкторій коливань і однакову фазу. Хвильовий рух характерний для вантаженесучих органів, що деформуються, в яких поширюються поздовжні і поперечні хвилі, при цьому кожна точка їх поверхні переміщається щодо сусідньої з деяким зсувом по фазі. Вібраційний рух вантаженесучого органу або робочого контейнера характерний для вібротоків, віброжолобів, віробункерів і вібраційних машин з U-подібним робочим контейнером. Так, у вібраційних машинах з U-подібним контейнером технологічне завантаження здійснює циркуляційний круговий рух в площині обертання незбалансованих вантажів інерційного вібратора (зазвичай у вертикальній) в напрямку зворотному до напрямку обертання валу вібратора. Механізм виникнення циркуляційного руху в U-подібних контейнерах досить повно описаний в роботах [1, 2, 3, 7], де показано визначальний вплив цього руху на продуктивність і якість обробки деталей машинобудування, особливо на оздоблювально-зачистних операціях.

У вібраційних машинах з тороїдальним контейнером, який здійснює складні просторові коливання робоче середовище рухається по спіралевидній траєкторії: уздовж кільцевої осі тороїда і навколо неї. Рух робочого середовища уздовж кільцевої осі тороїда можна назвати транспортувальним а рух робочого середовища у площині, що перпендикулярна до кільцевої осі тороїда можна назвати перемішувальним. Циркуляційний рух в тороїдальних контейнерах має велику інтенсивність, а його енергію зручніше утилізувати і

перетворити для приводу допоміжного примусового руху оброблюваних деталей [8]. При цьому механізм виникнення циркуляційного руху робочого середовища в тороїдальних контейнерах і розподіл по перетину контейнера створеного цим рухомдинамічного напору залишається маловивченим.

**Постановка задачі.** Аналіз існуючих робіт з теоретичних і експериментальних досліджень динаміки вібраційних машин з тороїдальним контейнером показав, що незважаючи на наявність досить повних і глибоких досліджень, математичні моделі які використовуються в них необхідно уточнити, що дозволяє більш точно описати колильний рух контейнера і досліджувати механізм виникнення в ньому циркуляційного руху робочого середовища і розробити алгоритм управління цим рухом. Тому, практичний інтерес представляють експериментальні дослідження з метою визначення розподілу динамічного напору робочого середовища по перетину тороїдального контейнера вібраційних технологічних машин із електромеханічним віброприводом та вертикальним дебалансним валом, що дозволяє визначати найвигідніші місця розташування оброблюваних деталей під час їх віброобробки виходячи з умови ефективності і якості обробки.

#### **Виклад основного матеріалу.**

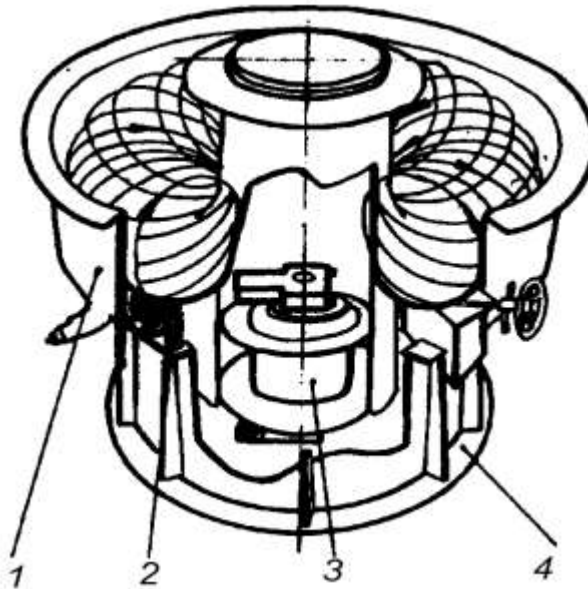
Експериментальні дослідження розподілу динамічного напору циркуляційного руху робочого середовища в тороїдальному контейнеріпроводилися на дослідному зразку віброустановки, виготовленому в лабораторії автоматизації технологічних процесів Вінницького національного аграрного університету. На мал. 1 зображена принципова схема експериментального зразка віброустановки де стрілками вказано напрям циркуляційного руху її робочого середовища. Віброустановка складається з тороїдального контейнера 1, покритого зсередини зносостійким покриттям і встановленого за допомогою пружноїпідвіски 2 на основі 4. Для генерування колильних рухів робочого тороїдальногоконтейнера використовується електромеханічний привод з відцентровим дебаланснимвібробуджувачем 3.

Як джерело механічної енергії використаний електродвигун постійного струму змішаного збудження П-31У4. ТУ 16.514.001-64 потужністю 1,5 кВт. Кутова швидкість якого регулювалася шляхом зміни величини напруги на його якірному колі за допомогою автотрансформатора і випрямляча та вимірювалася за допомогою електротахометра ІТЕ-2 з датчиком ДТЕ-2.

Конструктивні параметри експериментальної установки наведені в таблиці 1. Загальний вигляд віброустановки з



тороїдальним контейнером представлений на мал. 2.



Мал. 1 - Принципова схема дослідного зразка віброустановки із тороїдальним робочим контейнером (напрямок циркуляційного руху робочого середовища вказано стрілками): 1 - тороїдальний контейнер; 2 - пружна підвіска; 3 - відцентровий дебалансний вібробуджувач; 4 - основа

Кут розвороту дебалансних вантажів  $\alpha$  змінювався шляхом провертання верхнього дебалансного вантажу щодо жорстко закріпленого на приводному валу, нижнього дебалансного вантажу. Дебалансні вантажі фіксувалися затискними болтами. Для вимірювання кута розвороту дебалансних вантажів  $\alpha$  використовувалася закріплена на верхньому торці вала транспортна лінійка.

Експериментальні дослідження таких механічних параметрів циркуляційного руху робочого середовища, як швидкість транспортуючого і перемішуючого рухів, створюваний ним динамічний напір здійснювали шляхом занурення тіл - свідків в циркуляційний потік сипучого робочого середовища [9]. Тому виникає необхідність оцінити фізичні основи взаємодії твердих тіл з циркуляційним потоком сипучого робочого середовища.

З експериментальних досліджень відомо [9], що поведінка сипучих середовищ при вібраційному впливі може бути розглянутою, як поведінка Ньютонової рідини. Між тілом і потоком будь-якого середовища, у якому розміщене тіло, завжди виникають сили взаємодії. На тіло довільної форми, з боку потоку діє сила, що залежить від швидкості потоку, фізико-механічних характеристик сипучого середовища в цілому і окремих його частинок, а також, від форми, розмірів і розташування тіла відносно потоку. Між поверхнею тіла і прилеглими до неї частинками середовища виникають сили тертя. Внаслідок наявності сил тертя, шар середовища, що прилягає до поверхні рухомого щодо

середовища тіла, захоплюється цим тілом. Наступні шари середовища ковзають один відносно іншого, в результаті чого між ними виникають сили в'язкого тертя. Шар середовища, в якому діють сили в'язкого тертя, називається прикордонним шаром. У зазначеному шарі швидкість частинок середовища поступово зростає, у міру віддалення від тіла.

У міру зростання відносної швидкості потоку, спостерігається виникнення вихорів позаду тіл і відрив потоку від поверхні тіла. Внаслідок відриву потоку, позаду тіла утворюється область зниженого тиску.

Потік сипучого робочого середовища що здійснює циркуляційний рух створює динамічний напір який діє на розміщені в середовищі деталі (у вигляді сумарної дії безлічі мікроударів окремих його частинок). В результаті чого, з боку сипучого середовища на оброблювану деталь впливає сила  $F_d$ , викликана лобовим опором останньої. Виходячи з теорії подібності та розмірностей [10] ця сила буде дорівнює:

$$F_d = \psi_d \rho_c S_d (v_{CP} - v_d)^2, \quad (1)$$

де  $\psi_d$  - коефіцієнт форми оброблюваної деталі (лобового опору);

$\rho_c$  - густина середовища;  
 $S_d$  - перпендикулярна до потоку сипучого робочого середовища площа найбільшого поперечного перерізу оброблюваної деталі (міделевий перетин деталі);

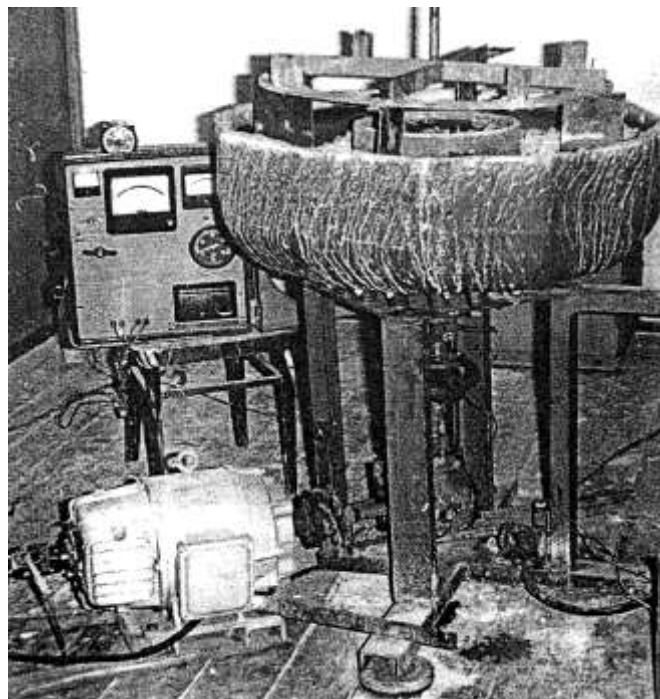


$v_{CP}$  - швидкість циркуляційного руху робочого середовища;

$v_d$  - швидкість переміщення деталі.

**Таблиця 1.** Конструктивні параметри експериментальної віброустановки з тороїдальним контейнером

Конструктивні параметри		Одиниці вимірювання	Числове значення
Назва	Позначення		
Об'єм контейнера	$V_k$	Дм <sup>3</sup>	100
Маса контейнера	$M_1$	кг	120
Радіус кільцевої осі		м	0,285
Радіус внутрішнього циліндра робочої поверхні тороїда	$r_1$	м	0,16
Радіус зовнішнього циліндра робочої поверхні тороїда	$r_5$	м	0,41
Висота контейнера	$H_{CT}$	м	0,4
Моменти інерції відносно головних осей	$j_\xi = j_\eta$	кг м <sup>2</sup>	12,25
	$j_\zeta$	кг м <sup>2</sup>	14,6
Кількість пружних елементів підвіски		шт	16
Коефіцієнти загальної жорсткості пружної підвіски контейнера	$C_x = C_y$	кН/м	46,71
	$C_z$	кН/м	12305
	$C_\psi = C_\theta$	Нм/рад	306,4
	$C_\phi$	Нм/рад	504,7
Межі зміни статичного моменту дебалансів: - верхнього - нижнього	$S_B = m_B r_B$	кг м	0-0,68
	$S_H = m_H r_H$	кг м	0-0,68
Відстань від центру мас контейнера до дебалансів: - верхнього - нижнього	$h_B$	м	0,1-0,22
	$h_H$	м	0,1-0,22
Кут розвороту дебалансів	$\alpha$	град.	0-360
Кутова швидкість привідного вала	$\omega_B$	с <sup>-1</sup>	0-314,5



**Малюнок 2** - Зовнішній вигляд експериментальної віброустановки із вимірювальним обладнанням

Звідки можна визначити величину динамічного напору, що діє на одиницю площі поверхні деталі:

$$P = F_d / S_d \quad (2)$$



Експериментальні дослідження розподілу динамічного напору циркуляційного руху робочого середовища в тороїдальному контейнері проводилося на описаній вище лабораторній установці, при кутовій швидкості приводного вала 146,6 с<sup>-1</sup>. Як робоче середовище використовувалися порцелянові кульки діаметром 6..8 мм див мал. 3.

Вага завантаження становила 110 кг. Для вимірювання величини динамічного напору, був розроблений і виготовлений мембранний тензометричний датчик, конструктивна схема якого представлена на мал. 4. Датчик складається з корпусу 1 і кришки 2 між якими герметично затискала мембрана 3, на яку з внутрішньої сторони клеєм БФ-2

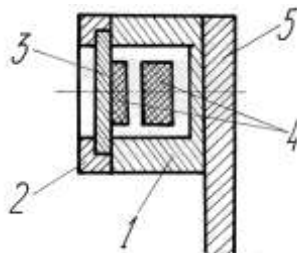
наклеювався тензорезистор 4 типу 2ФКПА-10-200В ТУ25-06-1383-78 з номінальним опором 201,6 + 0,5 Ом і коефіцієнтом тензочутливості  $K_T = 2,12$ . Такий же тензорезистор, для компенсації впливу температури на покази тензометричного датчика, наклеювався на внутрішню поверхню корпусу датчика 1. Обидва тензорезистори з'єднувалися за напівмостовою схемою і підключалися до регульовального напівмоста. Датчик кріпився до тороїдального контейнера за допомогою кронштейну 5. Живлення на вимірювальний міст і сигнал з нього подавалися на десятиканальний тензопідсилювач "ТОПАЗ - 3-01".



Малюнок 3 - Зовнішній вигляд робочого середовища (порцелянові кульки діаметром 6..8 мм)

Посилений тензопідсилювачем сигнал подавався на стрілковий прилад М82 класу точності 0,5. Тензопідсилювачотримував живлення від блоку живлення 55х-650571.

Тарування датчика динамічного напору виконувалосьу спеціальній барокамері за допомогою зразкового манометра класу точності 0,35. Діапазон навантажувальних величин динамічного тиску пройдено шість разів. Тарувальний графік датчика динамічного напору наведено на мал. 6.



Малюнок 4 - Конструктивна схема мембранного тензометричного датчика

Загальний вигляд тензодатчиків і вимірювальної апаратури представлений на мал.5.

Власну частоту датчика визначали відповідно до методики що викладенау роботах [11, 12]. У загальному випадку, власна частота будь-якого тензометричного датчика може бути розрахована по залежності:

$$\nu_0 = 1 / (2\pi \sqrt{m_e n_e}), \quad (3)$$

де  $m_e$  - еквівалентна маса пружного елемента датчика;

$n_e$  - еквівалентна податливість пружного елемента.

Для мембрани постійної товщини,що зафіксована по контуру (якщо в якості  $n_e$  прийняти податливість її центру):

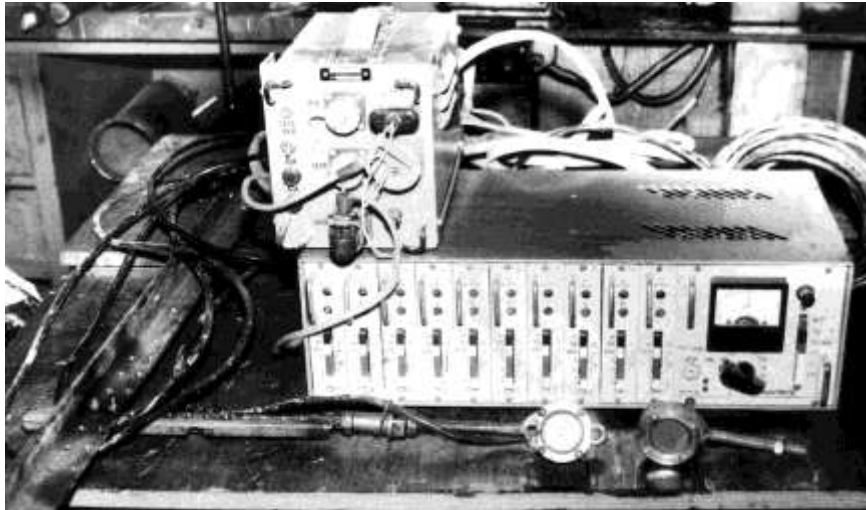
$$m_e = 0,32m_0 = 0,32\pi R^2 h \rho, \quad (4)$$

де  $m_0$  - маса мембрани;

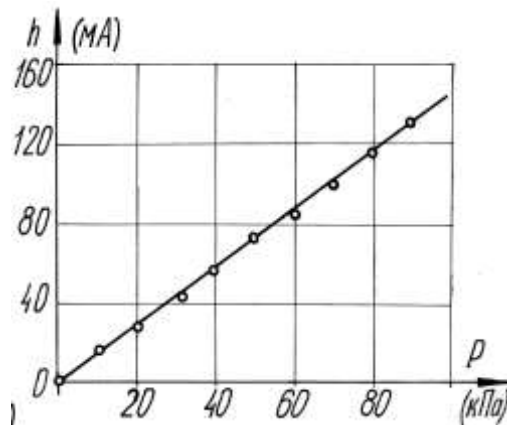
$R$  - радіус мембрани;

$h$  - товщина мембрани;

$\rho$  - густина матеріалу мембрани.



Малюнок 5 -Загальний вигляд тензодатчиків і вимірювальної апаратури



Малюнок 6 -Тарувальний графік датчика динамічного напору

Податливість зафіксованої по контуру мембрани при впливі тиску і відсутності в центрі зосередженої сили:

$$n_e = 0,75R_2 (1-\mu^2) / (\rho_y h 3E), \quad (5)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона;

E - модуль пружності.

Діаметр і товщину мембрани визначимо за максимально можливими величинами деформацій з умови, що відносна похибка лінійного перетворювача не повинна перевищувати  $g_n = 1\% = 10^{-2}$  при максимальному тиску, що вимірюється датчиком  $P = 10^6$  Па. Звідки, при  $E = 2,1 \cdot 10^{10}$  Па, співвідношення  $R / h$  не повинно перевищувати  $R / h < 29,6$

Підставивши (4) і (5) в (3) отримаємо:

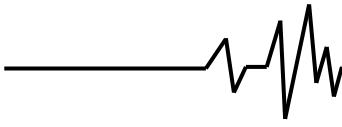
$$v_0 = 0,921 \frac{h}{R^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\mu^2)\rho_y}}$$

Конструктивні параметри мембранного датчика динамічного напору наведені в таблиці 2. Конструктивні параметри тензодатчика задовольняють умовам досліджень, оскільки максимальна частота реєстрованих процесів не перевищує 50 Гц, а власна частота датчика склала 5,6 кГц. Діаметр і товщина мембрани розраховувалися за максимально можливими величинами деформацій таким чином, щоб забезпечити лінійність характеристики перетворювача. При вимірах, датчик встановлювався по перетину тороїдального контейнера згідно схеми що представлена на мал. 7 а.

Таблиця 2 - Конструктивні параметри датчика динамічного напору

R	h	$\rho_y$	E	$\mu$
м	м	кг/м <sup>3</sup>	Н/м <sup>2</sup>	
0,016	0,0005	$7,8 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^{11}$	0,28

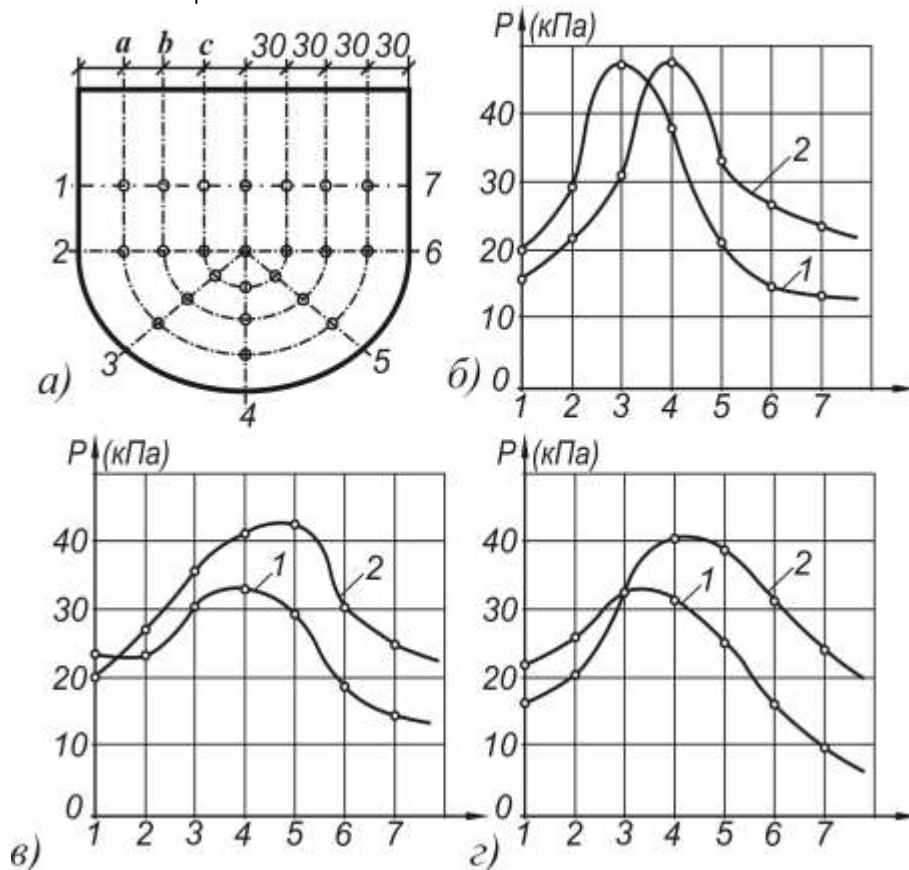
Дослідженнями встановлено, що динамічний напір робочого середовища пульсує в такт з коливаннями контейнера. Розподіл динамічного напору по перетину



контейнера залежить від демпфуючих властивостей середовища.

Спостерігається поступове зменшення динамічного напору в міру віддалення від стінок контейнера. Так максимальних значень динамічний напір досягає на лінії а (див. мал. 7 б, в, г) менших на лінії в і ще менших на лінії с.

На характер розподілу динамічного напору впливає також і напрямок перемішувального руху робочого середовища (те в якому місці перетину контейнера встановлюється за допомогою цього руху, найбільший стовп робочого середовища (див. мал. 8)).



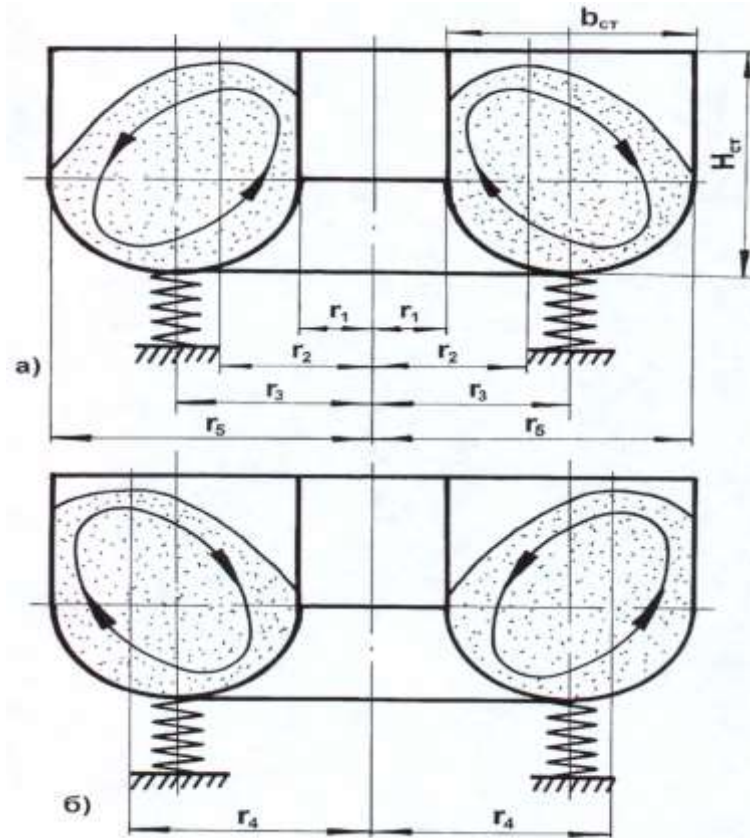
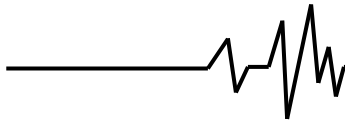
**Малюнок 7**– Результати вимірювання динамічного напору циркуляційного руху робочого середовища по перетину тороїдального контейнера: а) схема встановлення датчика; б), в), г) – зміна величини динамічного напору по координатних лініях а, в, с – відповідно; 1 – робоче середовище притискається до внутрішнього циліндра тороїда; 2 – робоче середовище притискається до зовнішнього циліндра тороїда

На мал. 9 наведено розподіл динамічного напору робочого середовища по перетину тороїдального контейнера. З малюнка видно, що циркуляційний рух створює найбільший динамічний напір у нижніх зонах контейнера, а в міру віддалення від поверхні контейнера динамічний напір поступово слабшає. Такий розподіл динамічного напору викликано тим, що циркуляційний рух робочого середовища виникає в результаті передачі ударних імпульсів частинкам середовища, що безпосередньо стикаються з поверхнею контейнера, а від них

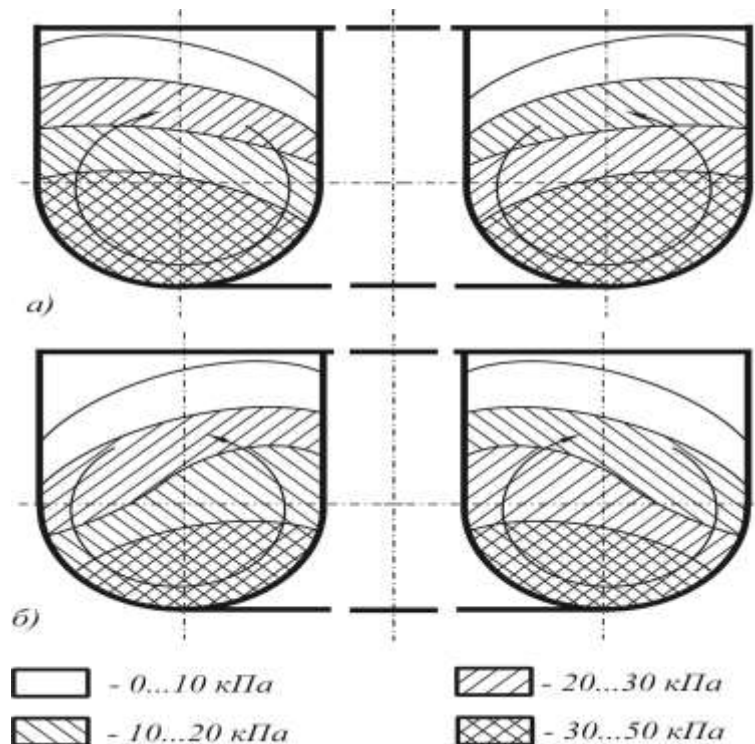
вищерозміщеним шарам робочого середовища, які передають її наступним і т.д. При цьому відбувається загасання амплітуди і відповідно швидкості робочого середовища, за рахунок втрати енергії на роботу з подолання сил тертя і непружної деформації.

А зусилля притиснення шарів до поверхні контейнера визначаються, як вертикальними складовими коливальних точок поверхні контейнера, так і висотою шару робочого середовища, що знаходиться над цими точками [13, 14].





**Малюнок 8**— Розподіл робочого середовища по перетину тороїдного контейнера залежно від напрямку його перемішувального руху (стрілками вказано напрям перемішувального руху);  $r_1$  – радіус внутрішнього циліндра тороїда;  $r_3$  – радіус кільцевої осі тороїда;  $r_5$  – радіус зовнішнього циліндра тороїда;  $H_{ст}$  – висота тороїдного контейнера;  $b_{ст}$  – ширина тороїдного контейнера



**Малюнок 9**— Розподіл динамічного напору робочого середовища по перетину тороїдального контейнера



На величину і характер розподілу динамічного напору робочого середовища впливає також і напрямок її циркуляційного руху. У разі притиснення перемішувальним рухом середовища до зовнішнього циліндра робочої поверхні (див. мал. 9а), тобто до точок поверхні контейнера що мають велику амплітуду вертикальних коливань, зона з високим динамічним напором (30-50 кПа) буде більшою, ніж у разі притиснення перемішувальним рухом середовища до внутрішнього циліндра робочої поверхні тороїда (див. мал. 9б), тобто до точок поверхні контейнера що мають меншу амплітуду вертикальних коливань, при цьому зменшується і абсолютна величина напору.

Це пов'язано з тим, що незважаючи на те що величина динамічного напору визначається в основному горизонтальною швидкістю робочого середовища уздовж кільцевої осі тороїдального контейнера (швидкістю транспортувального руху), величина ударного імпульсу що передається в цьому напрямку від поверхні контейнера прилеглим шарам середовища визначається силами тертя, тобто величиною зусилля притиснення останніх до поверхні контейнера

**Висновки.** Циркуляційний рух створює найбільший динамічний напір у нижніх зонах контейнера, а в міру віддалення від поверхні контейнера динамічний напір поступово слабшає. На величину і характер розподілу динамічного напору робочого середовища впливає також і напрямок її циркуляційного руху. У разі притиснення перемішувальним рухом середовища до зовнішнього циліндра робочої поверхні, тобто до точок поверхні контейнера що мають велику амплітуду вертикальних коливань, зона з високим динамічним напором є більшою, ніж у разі притиснення перемішувальним рухом середовища до внутрішнього циліндра робочої поверхні тороїда, тобто до точок поверхні контейнера що мають меншу амплітуду вертикальних коливань, при цьому зменшується і абсолютна величина напору.

Експериментальні дослідження розподілу динамічного напору робочого середовища по перетину тороїдального контейнера вібраційних технологічних машин із електромеханічним віброприводом та вертикальним дебалансним валом, дозволили визначити найвигідніші місця розташування оброблюваних деталей під час їх віброобробки виходячи з умови ефективності і якості обробки, а також максимуму утилізації кінетичної енергії циркуляційного руху робочого середовища у разі її використання для додаткового примусового руху оброблюваних деталей.

### Список літератури

1. *Бабичев А.П., Бабичев И.А.* Основы вибрационной технологии. Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 1999. 624 с.;
2. *Бабичев А.П., Мотренко П.Д.* Отделочно-упрочняющая обработка деталей многократным виброударным инструментом. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2003. 192с.
3. *Сергиев А.П.* Отделочная обработка в абразивных средах без жесткой кинематической связи. Дис... докт. техн. наук. Мариуполь: ММИ. 1989. 304 с.
4. *Карташев И.Н., Шаинский М.Е., Власов В.А. и др.* Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах. Киев: "Вища школа", 1975. 188 с.
5. *Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е.* Динамика частиц при воздействии вибраций. Киев: "Наукова думка," 1975. 168 с.
6. *Гончаревич И.Ф., Фролов К.В.* Теория вибрационной техники и технологии. Москва: Наука, 1981. 319 с.;
7. *Сливаковский А.О., Гончаревич И.Ф.* Вибрационные и волновые транспортирующие машины. Москва: Наука, 1983. 288 с.
8. *Берник П.С., Ярошенко Л.В.* Конструкции устройств для сообщения обрабатываемым деталям принудительного движения. Тезисы докладов научно-технической конференции. Донецк.: ДГТУ. 1994. -с.7-8.
9. *Протодьяконов И.О., Чесноков Ю.Г.* Гидромеханика псевдосжиженного слоя. Ленинград: Химия 1982 264 с.
10. *Седов Л.И.* Методы подобия и размерностей в механике. Изд., 3-е. перераб. Москва: Наука, 1981. 447 с.
11. *Левшина Е.С., Новицкий П.В.* Электрические измерения физических величин. (Измерительные преобразователи). Ленинград: Энергоатомиздат, 1983 320 с.
12. *Чумаков Н.М.* Расчет измерительных и усилительных элементов автоматических систем. Справочное пособие. Киев: Техника, 1971 356 с.
13. *Берник П.С., Ярошенко Л.В.* Вибрационные технологические машины с пространственными колебаниями рабочих органов. Винница: Издательский центр ВГСХИ, 1998. 116 с.;
14. *Чубик Р. В., Ярошенко Л.В.* Керовані вібраційні технологічні машини/ Монографія. Вінниця: ВНАУ, 2011. 355с. ISBN978-966-2462-35-7;

### References

1. *Babichev A.P., Babichev I.A.* Osnovy vibratsyonnoy tehnologii. Rostov-na-Donu: Izd. Tsentra DGTU, 1999. 624 s.;



2. Babichev A.P., Motrenko P.D. Otdelochno-uprochnyayutshaya obrabotka detaley mnogokratnym vibroudarnym instrymetom. Rostov-na-Donu: , 2003. 192 s.
3. Sergiyev A.P. Otdelochnaya obrabotka v abrazivnyh sredah bez jostkoy kinemacheskoy svyazi. Dis.,... dokt.texn.nauk. Mariupol: MMI. 1989. 304s.
4. Kartashov I.N., Shainskiy M.Y., Vlasov V.A. i dr. Obrabotka detaley svobodnymy abrazivamy v vibriruyutshih rezervuarah. Kyiv: "Vytscha shkola", 1975. 188 s.
5. Ganiyev R.F., Ukrainskiy L.E. Dynamika chastits pry vozdeystvii vibratsiy. Kyiv: "Naukovadumka," 1975. 168 s.
6. Goncharevic hl.F., Frolov K.V. Teoriyavibratsyonnoyehnikiyehnologii. Moskva: Nauka, 1981. 319 s.;
7. Spivakovskiy A.O., Goncharevich I.F. Vibratsionnyye i volnovyye transportiruyutshyye mastyny. Moskva: Nauka, 1983. 288 s.
8. Beryk P.S., Yaroshenko L.V. Konstruktsii ustroystv dlya soobtcheniya obrabatyvayemym detalyam prynuditelnogo dvijeniya. Tezisy dokladov nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Donetsk.:DGTU. 1994. s.7-8.
9. Protodyakonov I.O., Chesnokov Y.G. Gidromehanika psevdosgigennogo sloya. Leningrad: Himiya 1982 264 s.
10. Sedov L.I. Metody podobiya i razmernostey v mehanike. Izd., 3-e. pererab. Moskva: Nauka, 1981. 447 s.
11. Levshina E.S., Novitskiy P.V. Elektricheskiye izmereniya fizicheskikh velichin: (Izmeritelnyye preobrazovatelil. Leningrad: Energoatomizdat, 1983 320 s.
12. Chumakov N.M. Ratchot izmeritelnyh i usilitelnyh elementovav tomaticheskikh sistem: Spravochnoye posobiye. Kyiv: Tehnika, 1971 356 s.
13. Beryk P.S., Yaroshenko L.V. Vibratsionnyye tehnologicheskkiye mashyny s prostranstvyennymi kolebaniyamy rabochyh organov. Vinnytsya: VNAU, 1998. 116 s.;
14. Chubyk R.V., Yaroshenko L.V. Kerovani vibratsiyini tekhnolohichni mashyny. Vinnytsya.: VNAU, 2011. 355 s. ISBN978-966-2462-35-7

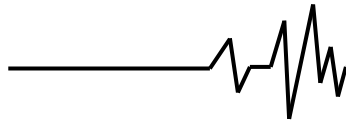
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО  
НАПОРА ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ СРЕДЫ В ТОРОИДАЛЬНЫХ  
КОНТЕЙНЕРА ВИБРАЦИОННЫХ МАШИН**

**Аннотация:** При работе вибрационных технологических машин для обработки деталей с сыпучей рабочей средой в вибрирующем контейнере, отдельные частицы

этой среды осуществляют хаотическое движение, а вся масса сыпучей среды осуществляет циркуляционное движение которое оказывает динамическое воздействие на поверхность обрабатываемых деталей в виде суммарного воздействия множества микроударов отдельных частиц. Однако, скорость перемещения и динамическое воздействие частиц рабочей среды не одинаковы в разных зонах контейнера. Распределение динамического напора циркуляционного движения рабочей среды в тороидальных контейнерах вибрационных представляет значительный практический интерес при разработке конструкций таких вибрационных машин и технологических процессов их работы.

Экспериментально исследовано распределение динамического напора рабочей среды по сечению тороидального контейнера вибрационных технологических машин с электромеханическим виброприводом и вертикальным дебалансным валом, что позволяет определять наиболее выгодные места расположения обрабатываемых деталей при их виброобработке исходя из условия эффективности и качества обработки, а также максимума утилизации кинетической энергии циркуляционного движения рабочей среды в случае ее использования для дополнительного принудительного движения обрабатываемых деталей. Циркуляционное движение создает наибольший динамический напор в нижних зонах контейнера, а по мере удаления от поверхности контейнера динамический напор постепенно ослабевает. На величину и характер распределения динамического напора рабочей среды влияет также и направление ее циркуляционного движения. В случае прижатия перемешивающим движением среды к внешнему цилиндру рабочей поверхности, то есть к точкам поверхности контейнера имеющим большую амплитуду вертикальных колебаний, зона с высоким динамическим напором является большей, чем в случае прижатия перемешивающим движением среды к внутреннему цилиндру рабочей поверхности тороида, то есть к точкам поверхности контейнера имеющих меньшую амплитуду вертикальных колебаний, при этом уменьшается и абсолютная величина напора.

**Ключевые слова:** вибрационная обработка, циркуляционное движение рабочей среды, динамический напор.



**EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE  
DISTRIBUTION DYNAMIC PRESSURE OF THE  
CIRCULATION MOVEMENT OF THE WORKING  
ENVIRONMENT IN TOROIDAL MOBILE  
CONTAINERS**

**Abstract.** *In the operation of vibrating process machines for machining parts with a bulk working medium in a vibrating container, individual particles of this medium carry out a chaotic movement, and the whole mass of the bulk medium performs a circulatory motion that has a dynamic effect on the surface of the workpiece in the form of the total impact of many micro-impact parts. However, the velocity of movement and the dynamic impact of the particles of the working medium are not the same in different zones of the container. The distribution of the dynamic pressure of the circulating motion of the working medium in the vibrating toroidal containers is of considerable practical interest in the development of the structures of such vibrating machines and the technological processes of their operation.*

*The distribution of the dynamic pressure of the working environment during the intersection of the toroidal container of vibrating technological machines with electromechanical drive and vertical unbalance shaft is experimentally investigated, which allows us to determine the most advantageous*

*locations of the work pieces during their vibration treatment based on the conditions of efficiency and processing quality as well as maximum utilization of the kinetic energy of the circulating traffic of working environment when using it for additional forced movement on work pieces. Circulating movement creates the greatest dynamic pressure in the lower zones of the container, and as the distance from the surface of the container increases - dynamic pressure gradually decreases. The magnitude and nature of the distribution of the dynamic pressure of the working environment are also influenced by the direction of its circulation. When pressed by circulating movement of the environment to the outer cylinder of the working surface, ie to the points of the surface of the container having a large amplitude of vertical oscillations, the zone with high dynamic pressure is greater than in the case pressing it the inner cylinder of the working surface of the topper, that is, to the surface points of the container that have a smaller amplitude of vertical oscillations, thus reducing the absolute magnitude of the pressure.*

**Keywords:** *vibration processing, circulating movement of the working environment, dynamic pressure.*

**Відомості про авторів**

**Ярошенко Леонід Вікторович** - кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Вінницького національного аграрного університету, Службова адреса: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ 21008, e-mail: [volvinlv@gmail.com](mailto:volvinlv@gmail.com)

**Ярошенко Леонид Викторович** - кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики Винницкого национального аграрного университета, Служебный адрес: г.. Винница, ул. Солнечная 3, ВНАУ 21008, e-mail: [volvinlv@gmail.com](mailto:volvinlv@gmail.com)

**Yaroshenko Leonid Victorovich** - candidate of technical sciences, associate professor of the department of electric power engineering, electrical engineering and electromechanics of Vinnitsa national agrarian university, Service address: Vinnitsa, st.Sonyachna 3, VNAU 21008, e-mail: [volvinlv@gmail.com](mailto:volvinlv@gmail.com)