

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Михайлика Вадима Григоровича** на тему
**«Обґрунтування параметрів робочих процесів гідроприводного
однопоршневого розчинонасоса з комбінованим компенсатором пульсації
тиску»**, подану до одноразової спеціалізованої вченої ради у Національному
університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» на здобуття ступеня
доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 133
Галузеве машинобудування

1. Актуальність роботи. Аналіз сучасних насосів вказує на пошук шляхів спрощення їх конструкцій і на вдосконалення принципової схеми однопоршневих розчинонасосів при зведенні до мінімуму пульсацій у трубопроводі під час транспортування будівельних розчинів.

З метою зниження пульсації в сучасних однопоршневих розчинонасосах застосовують компенсатори тиску у вигляді повітряних ковпаків різного об'єму. Але повітряні компенсатори, поряд з перевагами, мають суттєві недоліки: стиснуте повітря безпосередньо контактує з перекачуваним розчином та інтенсивно видаляється із ковпака в процесі роботи розчинонасоса. Особливо прискорюється видалення повітря при підвищеному тиску (вище 1,2...1,5 МПа). При цьому, ефективність роботи компенсатора суттєво знижується, а пульсації зростають.

Виникає необхідність у створенні однопоршневих розчинонасосів підвищеної надійності з вдосконаленою циліндро-поршневою групою та завдяки використанню гідравлічного привода, який нівелює поперечні зусилля на циліндро-поршкову групу та зменшить рівень пульсацій тиску і подачі розчину, забезпечить плавність регулювання подачі під час роботи, також повинні зрости показники продуктивності і об'ємного ККД по відношенню до електромеханічного привода. Тому розробка та впровадження гідравлічних приводів разом з високоефективним комбінованим компенсатором забезпечить ефективну роботу розчинонасосів під час перекачування будівельних розчинів та легких бетонів.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків і списку використаних літературних джерел із 129 найменувань, має 215 сторінок машинописного тексту, 72 рисунки, 30 таблиць та 5 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено мету і основні завдання дисертаційного дослідження, представлено наукову новизну та практичне значення роботи, подано її загальну характеристику і наведено дані щодо її апробації та публікацій.

У першому розділі (с. 29-81) «Аналіз сучасного положення створення високоефективного гідроприводного однопоршневого розчинонасоса» представлено: призначення, умови роботи та вимоги до сучасних розчинонасосів, аналіз існуючих конструкцій розчинонасосів, як вітчизняних так і закордонних, конструкцій гідроприводних розчинонасосів, аналіз конструкцій відомих компенсуючих пристроїв та умов їх спрацювання. Розглянуто передумови створення

компенсуючого пристрою, який забезпечить низький рівень ступеня пульсацій тиску подачі розчинів різної рухомості. Обґрунтовано формування конструкції гідроприводного однопоршневого розчинонасоса з новим комбінованим компенсатором пульсації тиску для проведення дослідження.

У другому розділі (с. 83-137) «Теоретичні дослідження робочих процесів гідравлічного розчинонасоса з комбінованим компенсатором пульсації тиску та порівняльний аналіз з роботою розчинонасоса з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму» представлено аналіз формування гідроприводного розчинонасоса на базі вже існуючого розчинонасоса з електромеханічним приводом та проведено здобувачем порівняльний теоретичний аналіз робочих процесів перекачування розчину. На основі математичної моделі та закону руху робочого органа (поршня) визначено залежності тиску подачі розчину, зміни об'єму в компенсуючому пристрої та ступінь пульсації тиску подачі розчину в нагнітальний трубопровід розчинонасоса. На основі законів гідродинаміки Бойля-Маріотта та Генрі обґрунтовано загальний компенсуючий об'єм повітря комбінованого компенсатора за роботою акумулювання розчину.

Методом комп'ютерного моделювання представлено розподілення тиску подачі розчинної суміші у гідравлічній частині гідроприводного розчинонасоса. Також досліджено та визначено раціональну висоту підйому кульки клапанів залежно від впливу ступенів пульсацій тиску розчину. Математично обґрунтовано основні параметри розчинонасоса об'ємний ККД, потужність. Проведено теоретичні дослідження дифузійної проникності розчинного середовища в матеріалі замкненої камери компенсуючого пристрою та ущільнень.

У третьому розділі (с. 138-187) «Експериментальні дослідження визначення технічних параметрів роботи гідроприводного розчинонасоса та порівняльний аналіз з розчинонасосом з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму» представлено програму експериментальних досліджень, експериментальне стендове обладнання, вимірювальні прилади, засоби фіксації параметрів залежностей, характеристик та розроблені методики проведення, оброблення та аналізу експериментальних даних.

Проведено експериментальні дослідження:

- з запису та фіксації залежностей тиску подачі розчину у нагнітальний трубопровід та подальше визначення ступеня пульсацій тиску розчину у трубопровід,
- визначення продуктивності однопоршневого розчинонасоса з комбінованими компенсаторами різного конструктивного рішення;
- впливу факторів на значення об'ємного ККД розчинонасоса;
- визначення енерговитрат, необхідних для роботи розчинонасоса та проведено порівняльний аналіз з параметрами розчинонасоса з електромеханічним приводом і комбінованим компенсатором збільшеного об'єму;
- визначення жорсткості пневмобалона, як замкненої камери через вертикальне стискування;
- швидкості затухання коливань (вібропоглинання) пневмобалона, як замкненої камери акумулюва;

– визначення відносного насичення повітрям вільної камери компенсую чого пристрою;

– дифузійної проникності газової та рідинної фази на матеріал (пневмобалона) замкненої камери комбінованого компенсатора пульсації тиску.

У четвертому розділі (с. 188-196) «Методика визначення основних показників однопоршневого гідроприводного розчинонасоса з комбінованим компенсатором пульсації тиску» представлено методику розрахунків основних параметрів роботи гідроприводного розчинонасоса з комбінованим компенсатором пульсації тиску та рекомендації з подальшого удосконалювання конструкції гідроприводного однопоршневого розчинонасоса з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму.

3. Висновки за результатами виконання дисертаційної роботи є достовірними і мають наукову та практичну спрямованість. У висновках наведено найбільш важливі наукові та практичні результати, які були отримані автором за результатами досліджень. Матеріали дисертації достатньо проілюстровані схемами, рисунками, графіками і таблицями. Загальні висновки і рекомендації у дисертації є наслідком проведених здобувачем наукових досліджень, які в достатній мірі відображають основні результати роботи. Текст дисертаційної роботи викладений чітко та в логічній послідовності. Мова і стиль викладення змісту, оформлення дисертації відповідають вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії. В цілому, дисертаційна робота Михайлика В.Г. відповідає вимогам пунктів 5-9 Постанови Кабінету Міністрів України «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти» за № 44 від 12.01.2022 р. і містить науково обґрунтовані результати досліджень, що спрямовані на підвищення ефективності роботи однопоршневого гідроприводного розчинонасоса з комбінованим компенсатором пульсації тиску в умовах будівельного майданчика.

Список використаних джерел охоплює вітчизняні та закордонні публікації із 129 найменувань і свідчить про аналіз сучасних наукових джерел при виконанні наукового дослідження.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає встановленим вимогам МОН України.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність та новизна.

Наукові положення, висновки і рекомендації, які викладені в науковому дисертаційному дослідженні, є достатніми та належним чином обґрунтованими. Для їх уточнення автором проведено необхідні теоретичні та експериментальні дослідження, розроблено відповідні методики, опубліковано отримані результати. Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень вищої математики, теоретичної механіки, теорії машин і механізмів, основ конструювання деталей машин, а також сучасних методів математичного моделювання. Експериментальні дослідження здійснено за допомогою методів математичного планування експерименту з використанням комп'ютерної техніки, прикладного програмного забезпечення та стандартних методик із застосуванням спеціально спроектованої та виготовленої лабораторної установки. Достовірність отриманих у

дисертаційній роботі результатів підтверджується вмілим використанням математичного апарату, обґрунтованістю прийнятих припущень, кореляцію теоретичних і експериментальних досліджень, впровадженням одержаних результатів в інженерну практику проектування розчинонасосів.

У першому пункті виконано аналіз роботи діючих вітчизняних поршневих розчинонасосів, закордонних зразків та гідроприводних розчинонасосів. Проаналізовано переваги використання в конструкціях розчинонасосів гідравлічних приводів та компенсаторів акумулювання розчинних сумішей для зниження пульсацій тиску подачі.

Другий пункт загальних висновків містить аналіз особливостей роботи однопоршневого розчинонасоса з використанням гідравлічного привода та компенсатора пульсації тиску, а також роботи розчинонасоса з електромеханічним та гідравлічним приводом компенсаторів пульсації тиску та збільшеного об'єму.

На основі існуючої математичної моделі роботи гідропривода математично обґрунтовано закон руху робочого органа та визначено залежності для визначення тиску розчину для тактів всмоктування $p_{t_{min}}$ та нагнітання $p_{t_{max}}$ для умов $0 \leq t_{зм} \leq t_{нг}; t_{нг} \leq t_{зм} \leq t_{вс}$.

Визначено залежності для визначення тиску розчину під час тактів нагнітання p_{max} та всмоктування p_{min} з урахуванням ходу поршня для умов $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ та $t_0 \leq t \leq t_k$. Встановлено, що гідравлічний привод дозволяє зменшити ступінь пульсації тиску на 3-5%.

У третьому пункті загальних висновків зазначається, що ступінь пульсацій подачі розчину по трубопроводу в залежності від тиску з урахуванням умов роботи компенсаторів у гідроприводного розчинонасоса з комбінованим компенсатором пульсації тиску дозволяє зменшити ступінь пульсації тиску від 2 до 5%. Теоретично обґрунтовано визначення об'єму ємності комбінованого компенсатора за роботою акумулювання розчину.

Четвертий пункт загальних висновків містить дослідження гідродинамічного впливу потоку розчину у робочій камері та клапанних вузлах під час роботи розчинонасоса на основі якого, встановлено залежності руху всмоктувального та нагнітального клапанів, а також кількісні втрати розчину у гідроприводного однопоршневого розчинонасоса з комбінованим компенсатором пульсації тиску. Проведено аналіз процесу виникнення тиску подачі розчину у гідравлічній частині гідроприводного розчинонасоса методом комп'ютерного моделювання. Аналітично досліджено визначення об'ємного ККД розчинонасоса з урахуванням стиснення розчину у всмоктувальній камері та зворотних витоків.

П'ятий пункт загальних висновків містить теоретичні дослідження дифузійної проникності середовища матеріалу замкненої камери компенсуючого пристрою.

У шостому пункті загальних висновків подано інформацію про експериментальні дослідження, визначення пульсації тиску, які показують, що у розчинонасоса з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму більші на 1,5%

при $\Pi_1=8$ см, на 3% при $\Pi_2=10$ см та на 4% при $\Pi_3=12$ см по відношенню до гідроприводного розчинонасоса з комбінованим компенсатором пульсації тиску. Розбіжність результатів теоретичних та експериментальних досліджень не перевищує 5%.

Сьомий пункт загальних висновків містить результати трифакторного експерименту, які показують, що продуктивність розчинонасоса та об'ємний ККД вище у гідроприводного розчинонасоса з комбінованим компенсатором пульсації тиску, а також рівень ступеня пульсації тиску нижче на 4%, для якого одержані діапазони раціональних технологічних параметрів: $\Pi = 9,5 \dots 10,5$ см; $p = 1,0 \dots 1,5$ МПа; $V_{\text{комп}} = 47 \dots 65$ дм³; $\beta = 37,5 \dots 52,5^\circ$.

Також вказано, що на основі багатфакторного експерименту максимального значення 84,4% об'ємний ККД гідроприводного розчинонасоса досяг при перекачуванні будівельних розчинів рухомістю Π 8 см при об'ємі компенсатора $V_{\text{комп}} = 75$ дм³ і спеціальною вставкою під кутом нахилу $\beta = 45^\circ$ у всмоктувальній камері та підпружиненим нагнітальним клапаном. За рахунок таких конструктивних рішень значення об'ємного ККД гідроприводного розчинонасоса при перекачуванні розчину Π 8 см зростає до 5%.

Експериментально доведено, що показник потужності в усіх випадках у гідроприводного розчинонасоса з комбінованим компенсатором пульсації тиску менший на 21% в порівнянні з розчинонасосом, який оснащено комбінованим компенсатором збільшеного об'єму. При цьому діапазони раціональних технологічних параметрів наступні $\Pi = 10 \dots 11$ см; $p = 1,0 \dots 1,5$ МПа; $V_{\text{комп}} = 47 \dots 56$ дм³; $\beta = 37,5 \dots 52,5^\circ$.

У восьмому пункті загальних висновків вказано, що експериментально доведено характер зміни коефіцієнта жорсткості пневмобалона, має саме не лінійну залежність, а зміну параболічну залежність вказаного параметру. При цьому коефіцієнт жорсткості, що досліджується для замкненої камери (пневмобалона) при відповідних параметрах тисків на манометрі домкрату має зміну у довільній формі для всіх тисків у пневмобалоні, не описуючи математичні закони (лінійний, гіперболічний, арифметичну чи геометричну прогресії).

Експериментально доведено, що процес затухання коливань у замкненій камері (пневмобалоні) за цикл роботи розчинонасоса відбувається у всьому діапазоні тиску підкачки.

Експериментально досліджено, що насичення повітрям у вільній камері повільно відбувається. При чому насичення повітрям тим більше, чим нижча рухомість розчину та більший його об'єм. Це процес пояснюється меншим вмістом водного середовища у розчину, а більшим вмістом мікроскопічних порожнин. Також суттєвий вплив на інтенсивність насичення повітрям здійснює площа контакту об'єму повітря з об'ємом розчину і це обумовлено конструкцією компенсатора.

У дев'ятому пункті загальних висновків зазначено, що на основі результатів проведеного аналізу, експериментальних досліджень та натурного зразка розчинонасоса, запропоновано науково-обґрунтовану методику розрахунку основних показників роботи однопоршневого розчинонасоса з комбінованим компенсатором

пульсації тиску, на основі якої розроблено технічну документацію на розчинонасос РНГ-4,5.

Наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані в результаті досліджень, є достовірними, що обумовлюється застосуванням статистичного оброблення інформації, системного та емпіричного аналізу, математичного моделювання, узагальнення, а також відомих положень теоретичної механіки. Експериментальні дослідження проведені на розробленому лабораторному стендові із застосуванням методів математичного планування багатфакторних експериментів та статистичної обробки результатів за допомогою відповідних комп'ютерних програм.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Отримані результати полягають у тому, що автором в результаті дисертаційних досліджень обґрунтовано нові теоретичні положення, які відносяться до встановлення функціональних відмінностей процесів руху будівельних сумішей залежно від закону руху робочого органа однопоршневим розчинонасосом, транспортування яких відбувається з постійною швидкістю в такті нагнітання, а в такті всмоктування за рахунок акумулювання потоку розчинної суміші об'ємом повітрям комбінованого компенсуючого пристрою стабілізується падіння тиску подачі

При цьому розглянуто:

- вперше, на основі порівняльного аналізу з однопоршневим розчинонасосом, обладнаним комбінованим компенсатором збільшеного об'єму, теоретично встановлено вплив закону руху поршня, сформованого гідравлічним приводом, та конструктивних параметрів запропонованого комбінованого компенсатора пульсації тиску на характер зміни тиску подачі та рівень пульсацій тиску будівельного розчину;

- теоретично встановлено закономірності процесу акумулювання розчину в компенсаторі під час його повної розрядки, а також зниження тиску газової фази впродовж такту всмоктування розчинонасоса, що дало змогу визначити конструктивний повний об'єм компенсатора, приведений до атмосферних умов;

- теоретично досліджено закономірності дифузійного проникнення матеріалу замкненої камери компенсуючого пристрою через поверхню ущільнень під час контакту з газовою та рідинною фазами залежно від температури та рівня напружень;

- встановлено аналітичні залежності для визначення основних параметрів робочого процесу досліджуваного гідроприводного розчинонасоса та визначено кількісні характеристики ступеня пульсацій тиску подачі, продуктивності, об'ємного ККД і енергоспоживання. Отримані результати підтверджено багатфакторними експериментальними дослідженнями та проведено їх порівняння з показниками роботи розчинонасоса з електромеханічним приводом;

- визначено характеристики жорсткості замкненої камери (пневмобалона) компенсатора при вертикальному стисканні в процесі його роботи, а також встановлено швидкість затухання коливань, що характеризує вібропоглинальні властивості камери;

- визначено відносний рівень насичення повітрям вільної камери комбінованого компенсатора та встановлено його залежність від умов функціонування компенсуючого пристрою.

6. Практичне значення одержаних результатів.

У межах проведених досліджень розроблено конструктивне виконання розчинонасоса, особливістю якого є застосування гідравлічного привода та нової комбінованої конструкції компенсатора, що спрямовано на підвищення ефективності процесу транспортування будівельних сумішей. Для експериментального дослідження закономірностей переміщення будівельних сумішей спроектовано та виготовлено стендове обладнання, яке забезпечує можливість дослідження технологічного процесу транспортування розчинонасосом і проведення комплексної оцінки впливу конструктивно-технологічних параметрів на його експлуатаційні характеристики. Розроблено методичний підхід до визначення рівня ступеня пульсацій тиску подачі розчинної суміші, продуктивності, об'ємного ККД, енерговитрат в процесі її транспортування розчинонасосом, а також обґрунтовано раціональні геометричні та кінематичні параметри робочого органа, клапанних вузлів та комбінованого компенсуючого пристрою, що забезпечують підвищення якості технологічного процесу. Практичне впровадження результатів дослідження здійснено у виробничих умовах де дослідно-виробничий зразок агрегату використовувався під час реконструкції складського приміщення ТОВ «КОНТУР БУД ЛТД» по вул. Буровиків, 4, в м. Полтава, ТОВ «ПОЛТАВАБУДТЕХНІКА» під час заміни внутрішнього опорядження стіни складу по вул. Довженка 2а, в м. Полтава. Крім того, отримані результати використовуються в освітньому процесі кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» під час викладання навчальної дисципліни «Будівельна техніка» у підготовці здобувачів освітнього рівня бакалавра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування».

7. Загальні зауваження та дискусійні положення щодо матеріалів дисертаційної роботи.

До дисертаційної роботи є такі зауваження:

1. У першому розділі зазначено результати аналізу вітчизняних і зарубіжних поршневих розчинонасосів та переваги гідравлічного привода. Водночас доцільно було б у висновку більш чітко сформулювати, які саме недоліки існуючих конструкцій усуваються запропонованим технічним рішенням і в чому полягає його принципова відмінність від відомих аналогів.

2. У теоретичній частині дисертації наведено значну кількість теоретичних залежностей, однак не зовсім чітко простежується їх практичний взаємозв'язок із визначеними конструктивними та режимними параметрами розчинонасоса. Доцільно було б більш виразно зазначити, які саме з отриманих залежностей є визначальними для вибору параметрів гідропривода та компенсатора пульсацій.

3. За теоретичними дослідженнями наведено, що зменшення ступеня пульсації тиску на 2–5 %. Водночас бажано було б конкретизувати, відносно якого базового конструктивного виконання та за яких режимів роботи отримано зазначений діапазон зміни показника. Це дозволило б більш обґрунтовано оцінити ефективність запропонованого комбінованого компенсатора.

4. У пункті 2.5 достатньо детально наведено результати теоретичного та комп'ютерного моделювання. Разом із тим у висновку недостатньо відображено

ступінь відповідності результатів моделювання експериментальним даним, що є важливим для оцінювання адекватності запропонованої математичної моделі.

5. У пункті 2.9 досліджено дифузійну проникність середовища матеріалу замкненої камери компенсуючого пристрою. Водночас не зовсім зрозуміло, наскільки отримані результати дослідження дифузійної проникності впливають на вибір матеріалу, конструктивні параметри та довговічність компенсатора. Доцільно було б цей взаємозв'язок чіткіше відобразити в основних висновках.

6. У пункті 3.6 наведено результати щодо нелінійної зміни коефіцієнта жорсткості пневмобалона та процесів затухання коливань і насичення розчину повітрям. Разом із тим окремі положення сформульовані дещо категорично. Зокрема, твердження про зміну коефіцієнта жорсткості «у довільній формі» бажано було б замінити кількісною характеристикою залежності або відповідною апроксимуючою функцією, що підвищило б практичну цінність отриманого результату.

Також незрозуміло, як узгоджуються коливальні процеси пневмобалона, як замкненої камери компенсуючого пристрою

Окремі висновки дисертаційної роботи є дещо перевантаженими розрахунковими та експериментальними даними, а подекуди містять твердження, які доцільно було б сформулювати більш конкретно й кількісно. Зокрема, бажано чіткіше розмежувати наукові результати, отримані теоретично, їх експериментальне підтвердження та практичні рекомендації. Водночас зазначені недоліки мають переважно редакційно-методичний і дискусійний характер та не знижують загальної наукової цінності дисертаційної роботи.

Рецензент
доцент кафедри галузевого
машинобудування та мехатроніки
Національного університету
«Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»

Євген ВАСИЛЬЄВ