

Міністерство освіти і науки України
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

ПРОЦЕНКО ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 693. 52

**РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАЛОІМПУЛЬСНОЇ ПОДАЧІ БУДІВЕЛЬНИХ
СУМШЕЙ ПРИ МОКРОМУ ТОРКРЕТУВАННІ**

**Спеціальність 05.05.02 - Машини для виробництва будівельних матеріалів і
конструкцій**

АВТОРЕФЕРАТ

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Харків - 2000

На правах рукопису.

Робота виконана в Харківському державному технічному університеті будівництва та архітектури на кафедрі “Механізація будівельних процесів”

Науковий керівник - Ємельянова Інга Анатоліївна

доктор технічних наук, професор
кафедри “Механізація будівельних процесів”
Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури

Офіційні опоненти - Назаренко Іван Іванович

доктор технічних наук, професор,
завідуючий кафедрою “Ремонт і експлуатація будівельних машин”
Київського національного університету будівництва та архітектури

- Маслов Олександр Гаврилович
доктор технічних наук, професор,
завідуючий кафедрою “Конструювання машин та технологічного обладнання”
Кременчуцького державного політехнічного інституту

Провідна установа - Полтавський державний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

Захист відбудеться 28 березня 2000 р. у 14.30 годин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64. 056.04 при Харківському державному технічному університеті будівництва та архітектури. Міністерства освіти і науки України за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

Автореферат розісланий “_25_” _лютого_2000 року.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради,
кандидат техн. наук, доцент

Ємельяненко

М.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. В умовах нових економічних відносин в Україні будівництво вимагає заміни існуючого малоефективного і застарілого парку машин на сучасний.

Актуальною стає проблема створення малогабаритного малоімпульсного універсального устаткування для умов реконструкції і реставрації діючих будинків і споруджень, що дозволяє бетонні роботи виконувати прямо на місці.

Обсяги таких робіт для вищевказаних умов зростають, а устаткування, для стиснутих умов, практично відсутнє.

Заслуговує уваги устаткування для проведення торкрет-робіт.

Використання торкрет-машин дозволяє наносити бетонні покриття безопалубочно з використанням пошарової укладки бетонної суміші безпосередньо на встановлений армокаркас.

З цією метою застосовується устаткування як сухого, так і мокрого торкретування. Однак істотні недоліки процесу сухого торкретування: - підвищений відсоток відскоку, втрати вихідної бетонної суміші, що неможна повторно використовувати, підвищена запиленість змушують працювати над створенням більш ефективних устаткування і технологій.

Вказані недоліки дозволяє ліквідувати спосіб мокрого торкретування, що широко використовується в Німеччині, США, Японії та інших країнах. Однак можна констатувати, що устаткуванню і технології мокрого торкретування не приділяють належної уваги.

Нове малогабаритне устаткування мокрого торкретування, створене в ХДГУБА (м. Харків), яке пройшло апробацію в умовах реконструкції будинків і споруд міста Харкова, показало його дієздатність і ефективність використання.

Перший досвід експлуатації виявив, що при роботі нового розчино-бетононасоса спостерігається імпульсна подача бетонної суміші, яка приводить до зниження якісних показників отриманого торкрет-бетону.

Тому створення удосконаленого ефективного устаткування мокрого торкретування з малоімпульсною подачею будівельних сумішей актуально для умов сучасного будівництва.

Теоретичні та експериментальні дослідження даного напрямку, створення на базі результатів таких досліджень нового обладнання становлять інтерес для різних видів сучасного будівництва.

Метою роботи є створення устаткування малоімпульсної подачі бетонних сумішей різної рухомості на маніпуляторній основі для умов “мокрого” торкретування.

Для здійснення указаної мети слід вирішити такі **задачі**:

а) розробити конструкції компенсаторів, що дозволяють до мінімуму знизити імпульсність подачі малорухомих сумішей двопоршневими прямоточними розчино-бетононасосами;

б) аналітично дослідити можливість зниження імпульсності подачі суміші за рахунок правильного вибору робочих параметрів насосів;

в) провести дослідження роботи однопоршневого компенсатора з підпружиненим поршнем;

г) дослідити роботу кільцевого поршневого блока компенсатора;

д) розробити фізико-математичну модель процесу руху бетонної суміші в двопоршневому прямоточному розчино-бетононасосі;

е) визначити витрати потужності на транспортування бетонних сумішей по трубопроводу;

ж) розробити методику та алгоритм розрахунку поршневих компенсаторів;

з) експериментально перевірити результати теоретичних досліджень роботи устаткування “мокрого” торкретування з установкою компенсаторів;

и) розробити технічну документацію на поршневі компенсатори;

к) розробити технічну документацію на маніпулятор для виконання робіт способом “мокрого” торкретування;

л) розробити програмне забезпечення маніпулятора.

Наукова новизна.

Для умов мокрого торкретування:

- Виявлено закони руху бетонної суміші як рідини Бінгама у двопоршневому розчино-бетононасосі та у транспортному трубопроводі;
- Побудовано фізико-математичні моделі малоімпульсної подачі бетонної суміші для умов використання поршневих компенсаторів, на підставі яких розроблена методика їхнього розрахунку;
- Знайдено закономірності для визначення тиску в робочому циліндрі насоса і середньої потужності, що витрачається на процес транспортування суміші по трубопроводу.

Наукова ідея - Малоімпульсна подача бетонної суміші по трубопроводу, рух якої розглядається виходячи з законів поведінки рідини Бінгама при використанні поршневих компенсаторів.

Методи досліджень містять положення теорії гідродинаміки, механіки суцільних середовищ; методи математичної статистики і планування експерименту при використанні ЕОМ.

Достовірність визначається використанням стандартних припущень і збігів результатів теоретичних і експериментальних досліджень. Відхилення фактичних даних від розрахункових не перевищує 10 %.

Достовірність експериментального матеріалу при визначенні показників ефективної роботи устаткування “мокрого” торкретування забезпечувалася необхідною кількістю повторів. Дослідження проводилися з достовірністю $\Delta = \pm 2\sigma, H = 0,95$.

Практичне значення:

- розроблено методику розрахунку поршневих компенсаторів, що забезпечують малоімпульсну подачу бетонних сумішей прямочисними двопоршневими розчино-бетононасосами;
- запропоновано маніпуляторну основу роботи устаткування мокрого торкретування з алгоритмом, що дозволяє визначити координати положення торкрет-сопла;
- розроблено технічну документацію на однопоршневий компенсатор і кільцевий поршневої блок компенсатора, а також на маніпулятор для нанесення торкрет-бетону.

Впровадження результатів.

Робота є складовою частиною наукових досліджень держбюджетної теми №0041 “Розробка теорії, методик розрахунку процесу мокрого торкретування при використанні устаткування багатоцільового призначення з програмним забезпеченням”, що належить до пріоритетного напрямку “Екологічно чиста енергетика і технології збереження ресурсів”, 1997 - 1999 р.р.

Відповідно до розробленої технічної документації виготовлені:

- однопоршневий компенсатор, що використовувався в комплекті технологічного устаткування при нанесенні гідроізоляційного покриття на фонтан способом мокрого торкретування в побудованому готельному комплексі по вул. Сумська, 50 (м. Харків);
- кільцевий поршневий блок компенсатора, використовуваний у комплекті устаткування, за допомогою якого способом мокрого торкретування проведено посилення стельових конструкцій у будинку UMS по вул. Фрунзе, 18 (м. Харків).

Технічна документація на маніпулятор для торкрет-робіт передана Київському інституту “Проектбудмеханізація”.

Особистий внесок здобувача Основні результати досліджень отримані здобувачем самостійно: огляд та аналіз джерел; при розробці фізико-математичної моделі визначені умови малоімпульсної подачі сумішей завдяки встановленню поршневих компенсаторів; запропоновано методику та алгоритм розрахунку поршневих компенсаторів і переміщення сопла при проведенні торкрет-робіт з застосуванням маніпулятора; впроваджено в виробництво нові конструкції компенсаторів.

Особистий внесок в зроблені у співавторстві публікації наведено у списку опублікованих робіт на стор. 14-15.

Апробація роботи.

Основні результати роботи і матеріали досліджень доповідалися на науково-технічних конференціях: ХДТУБА (з 52-ої по 54-ту в 1997-1999 роках); на Міжнародній науково-технічній конференції “Interstroimech-98” (Воронеж, 1998 р.); на 51-ій науковій конференції ПДТУ (Полтава, 1999 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції “Передові технології в промисловості і будівництві на порозі XXI століття” БГТАСМ (Белгород, Росія, 1998 р.); на Міжнародній конференції Heavy Machinery НМ- 99” (Kraljevo, Yugoslavia, 1999 р.).

Публікації.

Основні положення і результати роботи освітлені в 10 публікаціях загальним обсягом 55 сторінок машинописного тексту. Виконані дослідження захищені одним патентом України і двома позитивними рішеннями за заявками на видачу патенту України.

Обсяг роботи. Дисертація перебуває з вступу, 6 розділів, висновків, містить 165 сторінок машинописного тексту, 68 малюнків, 43 таблиці, джерела з 54 найменуваннями і 2 додатки.

Автор виражає подяку доценту, к.т. н. Баранову А. М. (УПА) за консультативну допомогу в роботі над дисертацією.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

1. Стан і актуальність проблеми

Торкретування є одним із способів набризку будівельних сумішей, укладання й ущільнення яких здійснюється за рахунок енергії стислого повітря.

Відомі роботи з торкретування ряду вчених: С.І. Дружиніна, П.І. Глужге, А.П. Шипілова, А.К. Корольова, М.Г. Дюженко, І.А. Ємельянової, А.О. Задоронього.

Торкретування може здійснюватися сухим і мокрим способами.

Підвищені відскок і запиленість, складність керування робочим процесом, металосмієність; у ряді випадків, великі енерговитрати машин “сухого” торкретування приводять до висновку, що устаткування вимагає подальшого його удосконалювання.

Стає актуальною проблема створення малогабаритного і маневреного устаткування для торкрет-робіт. Для вирішення цієї проблеми пропонується використати прямоочний двопоршневий розчино-бетононасос (мал.1).

Вагомий внесок у розвиток теорії та практики подачі розчинів по трубопроводах внесли науково-дослідні, проектно-конструкторські і навчальні інститути: ВНІ буддормаш, ВНІСМІ, МГТУБА, КНУБА, ХДТУБА, ПДТУ.

Однак для всіх розглянутих поршневих насосів присутня імпульсність подачі будівельних сумішей.

Серед відомих способів зниження імпульсності подачі суміші найбільше ефективними вважаються:

- збільшення числа робочих циліндрів насоса;
- підвищення ефективності роботи клапанів (зменшення зворотньої подачі суміші);
- використання різного роду компенсаторів тиску.

Вивченням питань ліквідації пульсацій займалися такі вчені, як М.Ц. Сац, М.А. Абрамов, О.Г. Онищенко, А.О. Онищенко.

У Россошанському будівельному тресті Воронізької області було розроблено і впроваджено пневмокомпенсатор до розчинонасосів типу СО-10, СО-49.

М.А. Абрамов запропонував повітряний ковпак збільшеної місткості.

Однак можна констатувати, що в даний час немає остаточного рішення проблеми імпульсності при транспортуванні будівельних сумішей за допомогою поршневих насосів, що дозволяє вважати дану проблему актуальною і шукати шляхи її рішення.

1. Теоретичні дослідження устаткування для зменшення імпульсності подачі будівельних сумішей прямоточним двопоршневим розчино-бетононасосом

омплект технологічного устаткування для малоімпульсної подачі будівельних сумішей приведений на мал.1 і працює наступним способом:

- Розчино-бетононасосом 7 бетонна суміш подається по гумовотканному рукаву 9 до торкрет-сопла з кільцевим насадком 6. До змішувальної камери і кільцевого насадку торкрет-сопла від компресорної установки ПКС - 5,25 л по повітряним шлангам 4 підводиться стиснуте повітря. У камері сопла відбувається змішування повітря із сумішшю, і далі повітряно-бетонний потік після вильоту із сопла наноситься на поверхню 10, що торкретується.

Імпульсність подачі суміші розчино-бетононасосом знижується за рахунок встановленого на вихідному патрубку компенсатора 8.

Ведучу роль в указаній технологічній схемі займає розчино-бетононасос з встановленим на вихідному патрубку компенсатором.

Мал. 1 Технологічна схема виробництва торкрет-робіт мокрим способом при використанні прямоточного розчино-бетононасоса, сопла з кільцевим насадком і компенсатора.

1- компресор; 2- ресивер; 3- повітряний фільтр; 4 повітряний шланг; 5- повітряний розподільник; 6 - торкрет-сопло з кільцевим насадком;
7- прямоточний розчино-бетононасос; 8- компенсатор; 9- трубопровід подачі будівельної суміші; 10- поверхня що бетонується.

Для згладжування пульсацій подачі бетонної суміші по трубопроводу пропонуються дві конструкції компенсуючих пристроїв.

На мал.2 запропонований компенсатор, що працює на рухомих сумішах і тисках вище 0,3 МПа та знижує пульсації.

Компенсатор має корпус 1, що складає одне ціле з вихідним патрубком розчино-бетононасоса 2. Мембрана 3, на яку зверху обпирається основа поршня 4, розташована між корпусом 1 і циліндром 5. Поршень 4, що оснащено ущільнювальним кільцем 6, зв'язаний із штоком 7 різьбовим з'єднанням. На штоці розташовано комплект пружин 8, ступінь стиснення яких регулюється натяжним гвинтом 9.

Компенсатор працює слідуєчим способом:

- Мембрана 3 і пружини 8 підібрані таким чином, що при роботі компенсаційного поршня розчино-бетононасоса в режимі нагнітання, частина суміші виштовхується в трубопровід, а частина залишається в компенсаторі. При цьому, під дією тиску, мембрана 3 прогибається і поршень 4 рухається вгору, стискаючи пружини 8. При роботі компенсаційного поршня розчино-бетононасоса в режимі усмоктування, коли тиск у магістралі знижується, під дією пружних властивостей пружини і мембрана компенсатора займають початкове положення, а суміш, що залишилася в компенсаторі, витискається в трубопровід.

Суміш поступає у циліндр компенсатора, а далі в трубопровід при величині швидкості компенсаційного поршня насоса нижче середньої. Пульсації згладжуються.

Мал.2 Однопоршневий компенсатор із підпружиненим поршнем.

Для подачі малорухомих будівельних сумішей розчино-бетононасосами запропоновано кільцевий поршневий блок компенсатора. Унаслідок рівномірного розподілу зусиль на бетонну суміш по всьому перетині в трубопроводі, такий компенсатор створює сприятливі умови для зниження імпульсності її подачі (мал.3).

Пропонується кільцевий поршневий блок компенсатора, що має вісім окремих компенсаторів прямокутного перетину, які розташовані рівномірно по всій окружності вихідного патрубка 1.

Компенсатор приєднується до насоса за допомогою фланців 3 і з'єднуючого кільця 2. Гільза кожного окремого компенсатора складається з боковин 4, 9 і закривається кришкою 6. Поршні компенсатора збираються з двох частин, нижньої і верхньої, між якими розміщена гумова прокладка 10, що призначена для зняття залишку суміші зі стінок гільзи. Кожен поршень оснащено штоками 5 і пружинами 8. Регулювання зусиль пружин здійснюється гайками 7.

Мал.3 Кільцевий поршневий блок компенсатора.

Пропонуємо конструкції компенсаторів дозволяють прогнозувати зниження імпульсності подачі проведенні робіт з "мокрого" торкретування.

Для обґрунтування правильного вибору компенсатора зроблена спроба теоретично дослідити поведінку руху сумішей у трубопроводі і знайти шляхи ліквідації пульсацій. Розрахункова схема об'єму однопоршневого компенсатора подана на мал.4.

Мал. 4 Розрахункова схема об'єму однопоршневого компенсатора.

Подача суміші в трубопровід дорівнює: $Q_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} A \sin \varphi d\varphi$

де A - одиничний об'єм подаваної бетонної суміші; φ - кут повороту кривошипу насоса.

Тоді, при повороті кривошипа на кут $\varphi \geq \arcsin \frac{2}{\pi}$, характер надходження суміші в компенсатор ілюструється залежністю:

$$f(\varphi) = \sin \varphi - \frac{2}{\pi}$$

(1)

Об'єм компенсатора, при цьому, визначається зі співвідношення об'ємів компенсаційного циліндра насоса $V_{к.ц.}$ і компенсатора V_k за півперіод повороту кривошипа на кут φ , що змінюється від 0 до π .

$$\frac{V_{к.ц.}}{V_k} = 2 \int_{\arcsin \frac{2}{\pi}}^{\frac{\pi}{2}} \left(\sin \varphi - \frac{2}{\pi} \right) d\varphi = 2 \left(-\cos \varphi - \frac{2}{\pi} \varphi \right) \Big|_{\arcsin \frac{2}{\pi}}^{\frac{\pi}{2}} = 0,42 \quad (2)$$

З залежності (2) випливає, що об'єм компенсатора складає 0,42 від об'єму компенсаційного циліндра насоса.

Тоді для двопоршневого прямооточного насоса з діаметром циліндра 0,1 м і ходом поршня 0,07 м, об'єм компенсатора такого ж діаметра, що і циліндри насоса ($d_k = d_{к.ц.}$) дорівнює 0,00023079 м³, а хід його поршня дорівнює 0,0294 м.

При установці на трубопровід компенсатора у вигляді кільцевого поршневого блока, приймається ширина прямокутних перетинів гільз, $h = \frac{2\pi R_r}{n} - 2\epsilon$, де n - кількість поршнів блока, R_r - радіус трубопроводу, ϵ - товщина стінки корпуса трубопроводу між гільзами компенсатора. При цьому h повинна забезпечити проходження частинок заповнювача максимальних розмірів у використовуваній суміші, відповідно до дотримання умови $h > 3d_{\max}$, де d_{\max} - максимальний діаметр частинок заповнювача. Зокрема, для трубопроводів діаметром 100...150 мм при роботі на сумішах малої рухомості з крупністю заповнювача до 10 мм, може бути встановлений кільцевий блок із восьми одиничних компенсаторів.

Використання такої конструкції компенсатора дозволяє об'єм циліндра однопоршневого компенсатора рівномірно розподілити на вісім гільз кільцевого поршневого блока.

При такому підході з'являється ймовірність до мінімуму звести імпульсність подачі малорухомих будівельних сумішей при проведенні робіт способом мокрого торкретування.

Для визначення робочих параметрів насоса при використанні компенсаторів, які дозволяють припустити, що гранична напруга зрушення (τ_0) і динамічна в'язкість бетонної суміші (μ) незмінні, були розглянуті процеси, що відбуваються в трубопроводі. Отримана залежність для визначення тиску, який необхідно забезпечити при перекачуванні суміші з врахуванням її реологічних властивостей і шляху транспортування: довжини L і висоти H :

$$P = H\rho_0g + \frac{8\mu L}{\pi R_T^4} \left(Q + \frac{\pi R_T^3 \tau_0}{3\mu} \right) \quad (3)$$

де R_T - радіус транспортної магістралі (трубопроводу), м, ρ_0 - середня щільність бетонної суміші, кг/м³, g - прискорення вільного падіння, м/с², Q - подача бетонної суміші, м³/г.

Необхідні витрати потужності на перекачування суміші по трубопроводу розчино-бетононасосом можуть бути подані залежністю:

$$N_{oe} = Q \left[H\rho g + \frac{8\mu L}{\pi R_T^4} \left(Q + \frac{\pi R_T^3 \tau_0}{3\mu} \right) \right] \quad (4)$$

Знаючи потужність двигуна розчино-бетононасоса і діаметр трубопроводу, а також характеристику суміші що транспортується, можна визначити дальність її транспортування як по горизонталі, так і по вертикалі. Їхні чисельні значення наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення дальності (L) і висоти подачі суміші (H) розчино-бетононасосом у залежності від рухомості суміші (Π).

$[N_{дв.} = 5,5 \text{ кВт}, R_T = 0,025 \text{ м}, Q = 4,9 \text{ м}^3/\text{г}]$

П,см	3,5	4	5	6	7	8
H (м)	35,1	39,7	46,5	56,2	62,7	71
L (м)	60,5	72,4	91,7	125,7	154	200

Рух бетонної суміші всередині двопоршневого прямооточного насоса представлено складним процесом, який аналізується з позицій законів руху в'язкої рідини при переміщенні поршнів насоса.

При усмоктуванні, спираючись на основні положення гідродинаміки, рух бетонної суміші можна представити як:

- прямолінійне надходження бетонної суміші із завантажувальної воронки до усмоктувального клапана;
- проходження суміші через сідло при відкритому усмоктувальному клапані (звуження трубопроводу);
- надходження суміші в робочу камеру на виході із сідла при відкритому усмоктувальному клапані (розширення трубопроводу);
- рух суміші в робочій камері насоса з обтіканням поверхні відкритого усмоктувального клапанний (кільцевий отвір);
- зміна напрямку руху суміші в зв'язку з заповненням робочого циліндра (поворот на 90°).

Тиск у компенсаційному циліндрі на стадії нагнітання компенсаційним поршнем повинен забезпечити рух бетонної суміші по транспортній магістралі. Ця умова визначається залежністю:

$$P_M = H\rho g + \frac{8\mu L}{\pi R_T^4} \left(\frac{Q}{2} + \frac{\pi R_T^3 \tau_0}{3\mu} \right) \quad (5)$$

де Q - подача суміші робочим поршнем, м³/г; P_m - тиск що розвивається насосом у транспортній магістралі, МПа.

Необхідний тиск стовпа бетонної суміші в завантажувальній воронці $P_{роб.всас}$ на стадії заповнення сумішшю робочого циліндра складе:

$$P_{роб.всас} = \frac{Q^2 \lambda \rho}{2\pi^2} \left(\frac{n_c^2 \zeta_c}{R_{сед.}^4} + \frac{R_{кл.}^2}{R_{корп.}^6} + \frac{1}{R_{корп.}^4} \right) + \frac{8\mu Q}{\pi(R_{корп.}^2 - R_{кл.}^2) \left(R_{корп.}^2 + R_{кл.}^2 - \frac{R_{корп.}^2 - R_{кл.}^2}{\ln \frac{R_{корп.}}{R_{кл.}}} \right)} + \frac{8\mu L_1}{\pi R_{корп.}^4} \left(Q + \frac{\pi R_T^3 \tau_0}{3\mu} \right) \quad (6)$$

де L_1 - довжина шляху руху бетонної суміші при заповненні робочого циліндра м, $R_{корп.}$ - радіус корпусу робочої частини насоса м; $R_{кл.}$ - радіус основи клапана, $R_{сед.}$ - радіус клапанного сідла м, ζ_c - коефіцієнт місцевих опорів, n_c - відношення площі поперечного перетину сідла клапана до площі поперечного перетину корпусу насоса, λ - коефіцієнт Дарсі.

На стадії нагнітання бетонної суміші робочим поршнем відбувається:

- поворот бетонної суміші в робочій камері насоса на 90°;
- проходження суміші через сідло при відкритому нагнітальному клапані;
- вихід суміші в компенсаційну камеру насоса із сідла нагнітального клапана;
- розділ загального потоку суміші на два та поворот кожного з них на $\pm 90^\circ$ (уліво -при заповненні компенсаційного циліндра і вправо -при надходженні в транспортну магістраль).

Місцеві опори, що мають місце при русі бетонної суміші в корпусі насоса і відкритті нагнітального клапана, визначаються по тим же законам, що і на стадії усмоктування. Відзнака полягає в збільшенні місцевих опорів за рахунок поділу потоку суміші при заповненні компенсаційного циліндра насоса і її подача в транспортну магістраль. Тиск у робочому циліндрі на стадії нагнітання визначається по формулі:

$$P_{роб.нагн} = \frac{Q^2 \lambda \rho}{2\pi^2} \left(\frac{n_c^2 \zeta_c}{R_{сед.}^4} + \frac{R_{кл.}^2}{R_{корп.}^6} + \frac{5}{4R_{корп.}^4} + \frac{1}{4R_{корп.}^4} \right) + \frac{8\mu Q}{\pi(R_{корп.}^2 - R_{кл.}^2) \left(R_{корп.}^2 + R_{кл.}^2 - \frac{R_{корп.}^2 - R_{кл.}^2}{\ln \frac{R_{корп.}}{R_{кл.}}} \right)} + \frac{8\mu L_2}{\pi R_T^4} \left(Q + \frac{\pi R_T^3 \tau_0}{3\mu} \right) + H\rho_0 g + \frac{8\mu L}{\pi R_T^4} \left(\frac{Q}{2} + \frac{\pi R_T^3 \tau_0}{3\mu} \right) \quad (7)$$

де L_2 - довжина шляху руху бетонної суміші в робочій частині насоса, м.

Завдяки приведеним вище залежностям, що описують процеси руху суміші в насосі та в транспортному трубопроводі представляється можливим знаходження середньої потужності, необхідної для роботи розчино-бетононасоса в умовах мокрого торкретування.

Середня потужність приводу насоса без пристроїв, що компенсують

$$N_{cp} = 0,637 A \cdot H\rho_0 g + 0,5 A^2 \frac{8\mu L}{\pi R_T^4} + 0,637 A \cdot \frac{8L \tau_0}{3R_T} \quad (8)$$

Середня потужність приводу насоса з кільцевим поршневым блоком компенсатора

$$N_{cp} = P_{cp} \cdot Q_{cp} = 0,637 A \cdot H\rho_0 g + 0,4058 A^2 \frac{8\mu L}{\pi R_T^4} + 0,637 A \cdot \frac{8L \tau_0}{3R_T} \quad (9)$$

Аналіз залежностей (8) і (9) показує, що установка кільцевого поршневого блока компенсатора дозволяє знизити необхідну потужність на 19%.

1. Експериментальні дослідження технологічного комплексу устаткування малоімпульсної подачі бетонних сумішей для здійснення процесу “мокрого” торкретування при використанні кільцевого поршневого блока компенсатора

Перевірка результатів теоретичних досліджень і визначення області оптимальних значень параметрів робочого процесу при установці компенсаторів виконані відповідно до поставлених мети і задач досліджень.

При цьому, експериментальним шляхом визначалися:

- імпульсність подачі малорухомих сумішей при використанні кільцевого поршневого блока компенсатора і без нього;

- потужність що витрачається на перекачування будівельних сумішей різної рухливості, при використанні кільцевого поршневого блока компенсатора і без нього.

Визначення кількісних характеристик імпульсності робилося по зміні миттєвої подачі суміші насосом, а отже і миттєвих швидкостей.

Залежності миттєвої швидкості подачі суміші (ϑ) від кута повороту кривошипа насоса (φ) подано на мал. 5а,б,в,г.

Мал. 5 Залежності миттєвих швидкостей (ϑ) від кута повороту кривошипа(φ). При ($\vartheta_{cp}=0,51$ м/с).

При роботі однопоршневого компенсатора імпульсність подачі суміші починає знижуватися тільки при підвищених В/Ц (мал.5б,в).

Ефективність роботи кільцевого поршневого блока компенсатора ілюструє залежність мал.5,г: імпульсність різко знижується.

Для визначення раціональних параметрів процесу мокрого торкретування при використанні нового технологічного устаткування використовувався планований експеримент із застосуванням ЕОМ.

Ефективність роботи устаткування оцінювалася наступними показниками:

Y_1 - міцність торкрет-бетону на стиснення $R_{сж.}$, МПа;

Y_2 - міцність торкрет-бетону на розтягнення при вигині $R_{узг.}$, МПа;

Y_3 - втрати бетонної суміші при торкретуванні (“відскок”) O , %;

Y_4 - витрата потужності на перекачування бетонної суміші $N_{дв.}$, кВт;

Y_5 - об'ємний ККД, $\eta_{об.}$

Фактори, що впливають на вищевказані показники, слідує:

x_1 - залишкова імпульсність - ОИ, %;

x_2 - довжина транспортного трубопроводу - $L_{тр.}$, м;

x_3 - витрати цементу на 1 м^3 торкрет-бетону - Ц, кг;

x_4 - водоцементне відношення - В/Ц;

x_5 - відсотковий склад великого заповнювача - $d_{кр.}$, %;

x_6 - відсотковий склад дрібного заповнювача - $d_{мелк.}$, %;

x_7 - витрати піску на 1 м^3 торкрет-бетону - П, кг.

Визначення всіх показників ефективності використання нового технологічного обладнання, як функцій від семи незалежних факторів $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$ проводилися з використанням D - оптимального плану з зоряними точками.

У результаті математичного опрацювання експериментальних даних отримані адекватні рівняння регресії.

Для виявлення систематичних помилок проведена рандомізація експерименту по датчику випадкових чисел.

Однорідність дисперсії перевірялася за критерієм Кохрена, що дозволило зробити висновок про повноту факторів.

Перевірка адекватності опису поверхонь відгуку поліном 2-го ступеня проводилася по F- критерію (критерію Фішера). Приведені залежності потужності ($N_{дв.}$), об'ємного ККД і “відскоку” від залишкової імпульсності (ОИ) і довжини трубопроводу ($L_{тр.}$) - мал.6а,б,в,г.

Результати експериментальних досліджень показали, що при використанні кільцевого поршневого блока компенсатора спостерігається зниження потужності $N_{дв}$ приводу

двопоршневого прямогочного розчино-бетононасоса на 16,2%, що підтверджують висновки теоретичних досліджень.

Розбіжність теоретичних і експериментальних результатів складає 10%.

Мал. 6 Залежності потужності (Ндв.), об'ємного ККД і “відскоку” від залишкової імпульсності (ОИ) і довжини трубопроводу (Lтр.).

Одержані залежності, дозволяють зробити висновок про позитивний вплив зниження імпульсності подачі на об'ємний ККД насоса, потужність та відсоток “відскоку” суміші від поверхні що торкретується.

Таким чином, доведена доцільність використання розробленого і виготовленого обладнання, що містить у собі однопоршневий компенсатор і кільцевий поршневої блок компенсатора.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. На базі прямогочного двопоршневого розчино-бетононасоса створене обладнання для малоімпульсної подачі сумішей різної рухливості, що включають компенсатори: однопоршневий із підпружиненим поршнем для роботи на рухливих сумішах і кільцевий поршневий блок для роботи на малорухомих сумішах.
2. Знайдено залежності для визначення об'ємів як однопоршневого компенсатора, так і кільцевого поршневого блока в залежності від миттєвої подачі суміші розчино-бетононасосом.
3. Побудовано модель процесу транспортування бетонної суміші при установці компенсатора і використанні прямогочного двопоршневого розчино-бетононасоса:
 - знайдені закони руху суміші при роботі компенсатора;
 - визначена максимальна дальність і висота подачі суміші;
 - знайдені залежності для визначення:
 - ◆ тиску в робочому циліндрі насоса;
 - ◆ середніх міцнісних витрат на процес транспортування суміші по трубопроводу.
4. Встановлено, що наявність компенсатора дозволяє одержати мінімальні витрати потужності на процес “мокрого” торкретування при залишковій імпульсності 4,3...5,7 % і транспортуванні суміші по трубопроводу довжиною 8...12 м. Присутність кільцевого поршневого блока компенсатора знижує витрати потужності на 16,2 %. Розбіжність результатів експериментальних і теоретичних досліджень складає 10 %.
5. Для умов установки кільцевого поршневого блока отримані комплексні залежності, що дозволяють визначити міцнісні показники торкрет-бетону і величину “відскоку” частинок бетонної суміші від поверхні що торкретується в залежності від визначальних параметрів процесу “мокрого” торкретування:
 - Встановлено, що міцність на 6...9 % перевищує показники міцності бетону, отриманого без використання компенсатора, а максимальний вихід міцності досягнуто при величині “відскоку” 5...7 %.
 - Побудовані адекватні математичні моделі залежності об'ємного К.К.Д. від основних параметрів процесу. Максимальний К.К.Д. розчино-бетононасоса $\eta_{об.} = 0,7$ досягнуто при транспортуванні бетонних сумішей по трубопроводу довжиною $L_{mp.} = 7...9$ м.
6. Розроблено:
 - методика й алгоритм розрахунку кільцевого поршневого блока компенсатора;
 - технічна документація на однопоршневий компенсатор із підпружиненим поршнем і кільцевий поршневий блок компенсатора;
 - технічна документація на маніпулятор для проведення торкрет-робіт.

7. Розроблене технологічне обладнання впроваджене при реконструкції будинку по вулиці Фрунзе, 18 (м.Харків), а також при реставрації фонтана готельного комплексу по вул.Сумська, 50 (м.Харків).
8. При річній програмі 12000 м³/рік від упровадження на виробничих об'єктах м. Харкова економічний ефект склав для умов установки кільцевого поршневого блока компенсатора:
 - на протиточний розчино-бетононасос - 201656 грн.
 - на прямоточний розчино-бетононасос - 30121 грн.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ У ТАКИХ РОБОТАХ

1. И.А. Емельянова, А.Н. Баранов, А.А. Задорожный, А.Н. Проценко Расчет основных рабочих параметров прямоточного растворонасоса. // Цемент Украины № 1. Харьков, 1997 г. (Участь у дослідженнях процесу переміщення поршнів у робочому і компенсаційному циліндрах).
2. И.А. Емельянова, А.Н. Баранов, А.А. Задорожный, А.Н. Проценко Анализ конструктивных особенностей прямоточного двухпоршневого растворонасоса, используемого для мокрого торкретирования строительных смесей. //Повышение эффективности технологических комплексов и оборудования в промышленности строительных материалов и строительстве: “Промышленность стройматериалов и стройиндустрия, энерго- и ресурсосбережения в условиях рыночных отношений”. Сб. докладов Междунар. конф. Белгород, ч.4, 1997. - С.197-201 (Здобувачем знайдено залежності для визначення швидкості руху поршнів насоса).
3. И.А. Емельянова, А.Н. Баранов, А.А.Задорожный, А.Н. Проценко, У.К. Регми Использование оборудования “мокрого” торкретирования в условиях реконструкции зданий и сооружений. // ХДГУБА ХОТВ АБУ Харків: Науковий вісник будівництва № 2, 1998. - С. 26-29 (Участь у розробці технологічної схеми, проведення торкрет-робіт устаткуванням мокрого торкретування в умовах реконструкції будинків і споруджень).
4. І. А. Ємельянова, А.М. Баранов, А.О. Задорожный, О.М. Проценко “Конусный пружинный клапан прямоточного розчинонасоса.” // Рішення НДЦПЕ про видачу патенту України на винахід за заявкою № 97062663, 01.08.98.
5. И.А. Емельянова, А.Н. Баранов, А.Н. Проценко, А.А. Задорожный Теоретические основы безимпульсной подачи строительных смесей поршневыми насосами. // Придніпровський науковий вісник № 72. Технічні науки. Дніпропетровськ, 1998. - С. 1-6 (Визначення об'єму поршневого компенсатора).
6. Емельянова И.А., Баранов А.Н., Проценко А.Н. Исследование кольцевого поршневого блока компенсатора для малоимпульсной подачи бетонных смесей пониженной подвижности. // ХДГУБА ХОТВ АБУ Харків: Науковий вісник будівництва № 4, 1998. - С. 88-91. (Здобувачем знайдено залежність для розрахунку необхідної кількості поршнів в кільцевому поршневому блоці компенсатора).
7. І.А. Ємельянова, А.М. Баранов, О.М. Проценко, А.О. Задорожный “Компенсатор для згладжування імпульсності подачі суміші розчинонасосом.” // Рішення НДЦПЕ про видачу патенту України на винахід за заявкою № 97062662, 06.10.98.
8. Ємельянова І.А., Баранов А.М., Задорожный А.О., Проценко О.М. Процес “мокрого” торкретування при використанні композиційного сопла. //Будівництво України, № 1, 1999. - С. 42-44. (Пропозиція використання однопоршневого компенсатора).
9. І.А. Ємельянова, А.М. Баранов, О.М. Проценко Визначення необхідної потужності для перекачування бетонної суміші по трубопроводі при безімпульсній подачі // Вибрації в техніку і технологіях. -1999, №2(11) - С.67-69. (Визначення максимальної дальності і висоти подачі бетонної суміші для технологічної лінії “мокрого” торкретування).
10. Емельянова И.А., Баранов А.Н., Задорожный А.А., Проценко А.Н. Оборудование для мокрого торкретирования. // Механизация строительства, №6, Москва, 1999. - С. 12-15., (Визначення миттєвої подачі бетонної суміші).

11. И.А. Емельянова, А.Н. Баранов, А.Н. Проценко Моделирование процессов движения бетонной смеси в двухпоршневом прямоточном дифференциальном бетононасосе. // ХДТУБА ХОТВ АБУ Харків: Науковий вісник будівництва № 6, 1999. - С. 198-203 (Участь у розробці моделі двопоршневого прямоточного розчино-бетононасоса).
12. І.А. Ємельянова, А.М. Баранов, О.М. Проценко, А.О. Задорожний “Кільцевий поршневий блок. ” // Рішення НДЦПЕ про видачу патенту України на винахід за заявкою №98041784, 10.09.99р.
13. О.М. Проценко Устаткування для безімпульсної подачі будівельних сумішей поршневими насосами. // ХДАЗТ Збірник наукових праць. Випуск 36, Харків, 1999. - С. 75-80. (Запропоновані конструктивні рішення компенсаторів і маніпулятора для торкрет-робіт).

АНОТАЦІЯ

Проценко О.М. “Розробка устаткування для малоімпульсної подачі будівельних сумішей при мокрому торкретуванні”.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.02 - “Машина для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій” - Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури.

Створено умови для малоімпульсної подачі будівельних сумішей новим технологічним комплектом устаткування, що включає в собі однопоршневий компенсатор і кільцевий поршневої блок компенсатора.

Знайдено залежності для визначення об'ємів як однопоршневого компенсатора, так і кільцевого поршневого блока.

При установці компенсатора і використанні прямоточного двопоршневого розчино-бетононасоса побудована модель процесу транспортування бетонної суміші на основі залежностей для визначення:

- законів руху суміші при роботі компенсатора;
- максимальної дальності і висоти подачі суміші;
- тиску в робочому циліндрі насоса;
- середніх міцнісних витрат на процес транспортування суміші по трубопроводу.

Розроблено методику й алгоритм розрахунку кільцевого поршневого блока компенсатора.

Ключові слова: миттєва подача суміші, тиск, імпульсність подачі будівельної суміші, однопоршневий компенсатор, кільцевий поршневої блок компенсатора, потужність, маніпулятор.

АНОТАЦІЯ

Проценко А.Н. “Разработка оборудования для малоимпульсной подачи строительных смесей при мокром торкретировании”.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05. 05. 02 – “Машины для производства строительных материалов и конструкций” - Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры.

Созданы условия для малоимпульсной подачи строительных смесей новым технологическим комплектом оборудования, включающим в себя передвижную компрессорную установку, торкрет-сопло с кольцевым насадком, однопоршневой компенсатор и кольцевой поршневой блок компенсатора.

Найдены зависимости для определения объемов как однопоршневого компенсатора, так и кольцевого поршневого блока.

При установке компенсатора и использовании прямоточного двухпоршневого раствора-бетононасоса построена модель процесса транспортирования бетонной смеси на основании зависимостей для определения:

- законов движения смеси при работе компенсатора;
- максимальной дальности и высоты подачи смеси;

- давления, необходимого для процесса перекачивания бетонной смеси по транспортной магистрали;
- средних мощностных затрат на процесс транспортирования смеси по трубопроводу.

Движение бетонной смеси внутри двухпоршневого прямого насоса анализируется с позиций законов движения вязкой жидкости при перемещении поршней насоса. При этом, рассматривается последовательно путь движения смеси при процессах всасывания и нагнетания в соответствии с работой поршней насоса.

Найдены зависимости для определения средней мощности привода насоса без компенсирующих устройств и с компенсатором в виде кольцевого поршневого блока.

Разработана методика и алгоритм расчета кольцевого поршневого блока компенсатора.

В условиях работы кольцевого поршневого блока компенсатора определялась также импульсность подачи строительных смесей различной подвижности.

Определение количественных характеристик импульсности производилось по изменению мгновенной подачи смеси насосом, а следовательно и мгновенных скоростей.

Эффективность работы оборудования оценивалась прочностными показателями токрет-бетона, величиной отскока, расходом мощности на перекачивание бетонной смеси, объемом К.П.Д.

Создана манипуляторная основа технологического комплекта оборудования “мокрого” торкретирования с программным обеспечением.

Ключевые слова: мгновенная подача смеси, давление, импульсность подачи строительной смеси, однопоршневой компенсатор, кольцевой поршневой блок компенсатора, мощность, манипулятор.

ABSTRACT

Protsenko A.N. “ Mining of the equipment for small oscillations of submission of building mixes at wet torkret”.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.05.02 - “Machines for manufacture of building materials and designs” - Kharkov state technical university of construction and architecture.

The conditions for Малоімпульсної of submission of building mixes by a new technological complete set of the equipment including an one-piston compensator and the ring-type piston unit of a compensator are created.

The relations for definition of volumes both one-piston compensator, and ring-type piston unit are retrieved.

At the installation of a compensator and usage of a straight-flow two-piston mortar-concrete pump the model of process of transportation of a concrete mix is built on the basis of relations for definition:

- The laws of motion of a mix by activity of a compensator;
- Maximum ranges and delivery head lifts of a mix;
- pressure in an operating cylinder of the pump;
- Mean costs of power of process of transportation of a mix on the pipe line.

The technique and algorithm of calculation of the ring-type piston unit of a compensator is designed.

Key words: instantaneous submission of a mix, pressure, oscillation of submission of a building mix, one-piston compensator, ring-type piston unit of a compensator, manipulator, power.

Підписано до друку 21.02.2000 р. Формат 60 x 90/16
Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 1.5,
Обл. - вид. арк. 1.5 Тираж 100. Замовлення № 280
Видавничий центр Харківського державного технічного
університету будівництва та архітектури.
(61002, Харків, вул. Сумська, 40)