

doi.org/10.29295/2311-7257-2021-104-2-318-323

УДК 621.86/87+69.0

Шатохін В.М.¹, Дерев'янюк М.І.¹, Яковлев Є.А.², Гончарова З.В.², Клименко М.В.³

¹Харківський національний університет будівництва та архітектури

(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: shatokhinvlm@gmail.com; derevakonikolaj84@gmail.com; orcid.org/0000-0002-0756-4104; orcid.org/0000-0002-1865-0399)

²Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

(вул. Маршала Бажанова, 18, Харків, 61002, Україна; e-mail: evgen.yakovlev647@gmail.com; zoya_g@ukr.net; orcid.org/0000-0002-6342-8560; orcid.org/0000-0003-1738-2861)

³ТОВ «Гідронпроект»

(просп. Науки, 8, Харків, 61057, Україна; e-mail: misha92@ukr.net; orcid.org/0000-0002-00382825)

ЩО ДО КОНСТРУКЦІЇ БЕТОНОПОМПИ ПЕРИСТАЛЬТИЧНОЇ З ВИТИСКНИМИ ПРИЗМАМИ ТА КОНУСНИМИ КОТКАМИ

В статті пропонується конструкція шлангової перистальтичної бетонопомпи з витискними променевими призмами, велика кількість яких зосереджена в зоні витискання бетону вздовж шлангу. Відзначається, що перистальтична хвиля, яка утворюється вздовж шлангу, коли витискний конусний коток котиться по верхній частині призми водночас нижня частина призми разом з сусідніми призмами стискає шланг, призводить до переміщення вздовж шлангу бетону аж до витискання його в місці бетонування будівельної конструкції. Виявлено, що при такому натисканні на шланг сила тертя ковзання і сила тертя кочення по шлангу значно знижують зношення шлангу на відміну від традиційних витискувачів бетону.

Ключові слова: перистальтична бетонопомпа, сектори камер, секторні витискні призми, конусні котки, бетоношланг, бетоносуміш, головний вал, головний редуктор, додатковий редуктор, підпружинені вісі котків, синхронне обертання котків, витискні призми.

Вступ. Передумовою виникнення перистальтичних насосів стали перистальтичні рухи кишечників живих істот. Неможливо не відмітити той факт, що термін “перистальтика” (від грец. *peristaltikós* – охоплювання, стискання) використовується у біології для позначення хвилеподібного скорочення стінок порожнистих трубчастих органів (стравохід, шлунок, кишечник та ін.), завдяки чому в них відбувається переміщення вмісту. У випадку перистальтичних pomp принцип роботи ідентичний. Відмінність полягає лише у тому, що перистальтика забезпечується не скороченням м’язів, а механічним тиском спеціальних роликів, які стискають шланг. Перистальтичні помпи застосовуються в найрізноманітніших сферах: медицині, фармацевтиці, біотехнології, поліграфії, на молочних заводах, хлібопекарнях, в харчовому виробництві і так далі, а також зокрема у будівництві як бетонопомпа.

В останні десятиріччя використання перистальтичних бетонопомп набуло широкого розповсюдження, що пов’язано з виробництвом шлангів високої міцності та малої пружності. Зазначимо, що конструктивна властивість шлангів проявляється в тому, що вони не потребують значних витрат, якщо витискання здійснюється на них без наявності бетонної маси. Неможливо не відмітити той факт, що в останні десятиріччя в будівництві значно підвищилась продуктивність праці та зменшилась ціна бетонних робіт завдяки широкому використанню бетонопомп, які дозволили шляхом нагнітання по бетонопроводам переміщувати та укладати бетонну суміш водночас зберігаючи якість бетонування.

Варто зазначити, що перевагою такої помпової подачі бетонної суміші є:

- транспортування та подача бетону в малодоступні місця будівельного об’єкта з утрудненим під’їздом техніки;
- безперервна подача бетонної суміші з регулюванням інтенсивності;
- під час перекачування суміш не розшаровується і не утворює пробки (не виникає утворення пластів суміші), що досягається методом реверсної роботи двигуна;
- відносно чисті будівельні площадки тощо.

Окремо слід виділити подачу бетону на висоту кількох десятків метрів.

Однак, мають місце деякі недоліки:

- висока вартість бетонопомпового обладнання (особливо шланга);
- необхідна очистка та промивка бетоно-транспортної системи;
- нестача фахівців високої кваліфікації (операторів), які вміють працювати з обладнанням;
- інше.

На сьогодні серед науковців-будівельників в світі зареєстровано більше трьох сотень патентів на конструкції перистальтичних pomp, проте звичайно не всі вони мають практичну направленість. У цій статті пропонуємо ознайомитися тільки з частиною патентів, в яких розглядаються найбільш розповсюджені витискачі бетону в складі бетонопомп при цьому роторні частини якої мало відрізняються одна від одної.

У роботі [1] аналізуються бетонопомпи з витискувачами із двох роликів у вигляді простих циліндричних котків. У патентах [2-5] використано витискувачі бетону у вигляді роликів, які спарені двічі між двома роликами. У патентах [6-9] використано двічі скріплені із трьох роликів. У роботах [10-13] використані ролики на ланцюгах. В роботах [14-17] пропонується перед витисками влаштувати вихор бетону для його перемішування безпосередньо перед входом бетону під витискач, який влаштовано із роликів з вібраторами.

Метою статті є описати створення витискача у вигляді камер по всьому колу обертання, в кожній із яких розташована призма з вільним круговим рухом від ротора з камерами та відносним рухом вниз та вгору при натисканні на призму та звільненні натискання при одночасному переміщенні котків на інші камери з призмами.

Опис конструкції. Бетонопомпа перистальтична з витискними призмами і конусними котками встановлюється на горизонтальному майданчику 1 (рис.1).

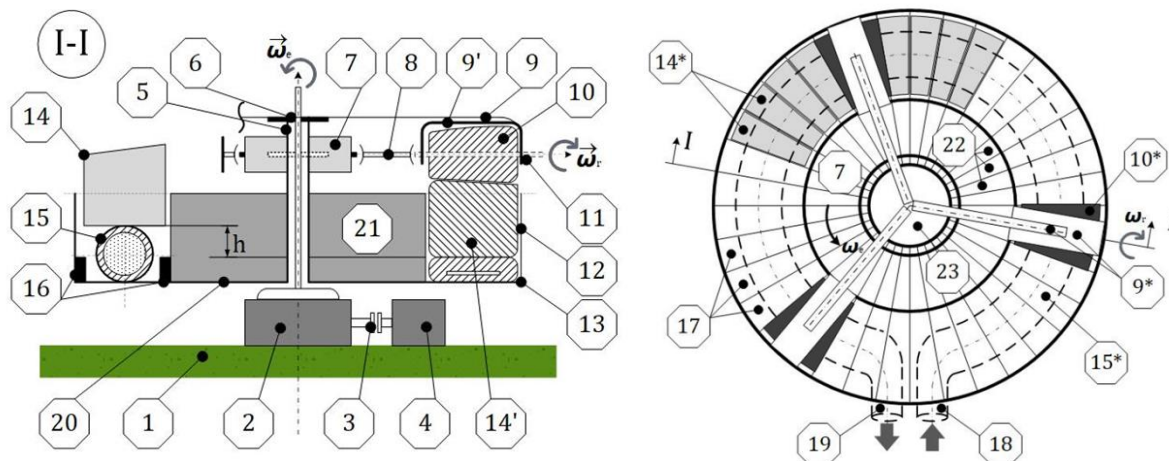


Рис. 1. Схема бетонопомпи перистальтичної з витискними призмами та конусними котками

Основний редуктор 2 і електродвигун 4 прикріплюються до горизонтального майданчика 1 і зв'язуються між собою за допомогою муфти 3. До редуктора 2 прикріплюється порожня стійка 5, в якій проходить головний вал 6 з круговою пластиною 23. До порожнистої стійки 5 прикріплюється допоміжний редуктор 7, який через карданний вал 8 передає рух витискному конусному котку 10, який з головним валом 6 за допомогою консольного бруса 9 і вилки 9' насаджено на вісь 11, водночас коток 10 підресорений віссю 11 з вилкою 9'.

На рисунку також показані: 12 – зовнішня стінка камери, в якій при ходовій посадці розташована і рухається від дії котка витискна пластина, яка, в свою чергу, деформує шланг з рідким бетоном; 13 – стислий шланг у стадії найбільшого стискування витискною призмою (за цих обставин внутрішня поверхня шланга має не сплюснутий проміжок під розмір стандартного по розмірах щєбня, який наповнює розчин цементу); 14 – витискна

призма, яка розташована в секторній камері в інтервалі між котками, які рухаються (в інших камерах витискні призми умовно не зображено); 15 – не стислий шланг за відсутності котка над ним; 16 – обмежувачі шланга при витисканні його призмами; 17 – секторні камери для витискних пластин; 18 – вакуумна шлангова огорожа бетонної суміші; 19 – вихід бетонної суміші при витисканні її котками; 20 – круглий стіл, на якому розміщено шланг, витискні призми та їх секторні камери; 21 – загальний вид стінки, яка замикає внутрішні сторони кожної секторної камери; 22 – геометричні лінії – промені секторів для стінок секторних камер.

Три консольні бруси 9 звилкою та котком 10 прикріплені до пластини 23. До порожньої стійки 5 прикріплюється круговий стіл 20, на якому розміщено: кругові (зовнішня і внутрішня) обичайки для шланга 18 (19, 13, 15) з обмежувачами 16 до максимального стискування шланга. Секторні камери 17, 21, які мають чотири стінки кожна, відкриті з гори і з низу для розміщення в них витискних призм типу 14 (14'), які мають вільний ходовий рух вгору і вниз. При цьому глибина h – це величина вертикального максимального переміщення витискної променевої призми при проході котка 10 та інших по кожній витискній променевої призмі.

Зазначимо, що оскільки котки (типу 10) вільно обертаються навколо своїх осей, котяться по вершинах променевих призм, можливе виникнення прослизання котків, яке призводить до значних бічних сил натиснення на променеві призми і швидкий їх знос. У зв'язку з цим передбачено наявність двох незалежних синхронних механізмів руху котків.

Перший механізм має таку конструкцію: вертикальний вал 6 при обертанні через насаджену на нього кругову пластину 23, консольний стержень 9 тавилку 9' передає рух на вісь котка одночасно обертаючись відносно головного валу 6 і своїй осі, котиться по вершинах променевих призм і утворює перистальтичний рух бетонопомпи. За цих обставин в процесі обертання може виникати або не виникати часткове прослизання котка, у той же час очевидно, що прослизання котка не виникне.

Головний вал 6 бетонопомпи приводить коток в два кругових однакових обертання одночасно: навколо осі головного валу і осі котка ω_r . При цьому лінійна швидкість на осі котка 10 дорівнює v_e :

$$v_e = \omega_e R, \quad (1)$$

де ω_e – переносна кутова швидкість головного валу 6; R – відстань (радіус) від осі головного валу 6 до осі котка 10.

Якщо коток котиться по верхніх площинах променевих призм без прослизання, тоді відносна кутова швидкість ω_r котка 10 обчислюється:

$$\omega_r = \frac{v_e}{r} = \omega_e \frac{R}{r} \quad (r_1 \leq r \leq r_2), \quad (2)$$

де r – радіус котка, величина якого залежить від конусності котка, а саме співвідношення:

$$\frac{R}{r} = const. \quad (3)$$

Таким чином співвідношення $\frac{R}{r}$ постійна величина і в цьому випадку синхронність співвідношень між радіусами R і r зберігається, якщо коток не робить прослизання, що практично маловірогідно.

Відзначимо, що другий механізм не допускає прослизання котка 10 при коченні по поверхнях променевих призм завдяки такій конструкції: до головного валу 6 і стійці валу 6 прикріплено допоміжний редуктор 7, який через карданний вал 8 передає рух на вісь котка 10. Якщо розглядати наявність тільки другого механізму, тоді виникне недостатній

натиск котка на верхні поверхні променевих призм. Кінематичний аналіз лінійної швидкості котка підтверджує, що кожен з двох механізмів може забезпечити однакову лінійну швидкість котка, якщо перший механізм не допускає прослизання. За наявності двох розглянутих механізмів рух котка забезпечується постійний синхронний рух котка. При цьому, відзначимо, що абсолютна кутова швидкість ω однакова для кожного з двох механізмів:

$$\omega = \omega_e + \omega_r, \quad (4)$$

де ω_e – переносна кутова швидкість котка 10; ω_r – відносна кутова швидкість котка 10.

Для зменшення прослизання котка при коченні і кращого зчеплення з поверхнями променевих призм видається корисною насічка на поверхні котка ($\approx 0,4$ мм). Варто відзначити, що при коченні котка тягову силу сприймають стінки променевих камер, але не бетоношланг. Отже, для зниження натиску на стінки променевих камер представляється корисним користуватися тоншими променевими призмами, при цьому матеріал променевих призм і матеріал стінок променевих камер повинні мати по можливості низький коефіцієнт тертя ковзання.

Розрахункові дослідження динамічних процесів у перистальтичному бетононасосі з гідроприводом. У роботі [18] викладені результати досліджень по розробці математичної моделі динамічних процесів в перистальтичному бетононасосі з гідравлічним приводом. Модель створена у формі диференціального рівняння відносно кута повороту ротора насоса; містить основні геометричні, масові характеристики ротора, динамічну характеристику гідромотора, параметри шланга, будівельної суміші.

Проведені дослідження для механізму, що розглядається в статті (див. рис. 1), дозволили встановити, що *момент сил опору від перекочування роликів* на інтервалі обороту істотно відрізняється від постійного. Вираз для *сили опору руху суміші в шлангу* отримане з використанням формули втрати натиску (тиску) при ламінарної течії рідини в круглій трубі. Вплив *висоти підйому суміші* на характер динамічних процесів в моделі відображений відповідною узагальненою силою. Для представлення *моменту гідромотора* використані дані каталогу [19], у якому приведені залежності моменту від частоти обертання ротора для різних витрат робочої рідини.

Диференціальне рівняння руху основного валу має вигляд

$$I_e \ddot{\phi} = Q_\phi(\phi, \dot{\phi}), \quad (5)$$

де I_e – еквівалентний момент інерції; $Q_\phi(\phi, \dot{\phi})$ – узагальнена момент.

Рівняння повинне інтегруватися з початковими умовами:

$$\text{при } t = 0 \quad \phi = \phi_0 = 0, \quad \dot{\phi} = \dot{\phi}_0 = 0.$$

Деякі параметри пристрою, для яких проводилися дослідження: $d = 5$ см – внутрішній діаметр шланга; $h = 1,5$ см – товщина стінки шланга; $D = 8$ см – зовнішній діаметр шланга; $\mu = 4$ Па · с – коефіцієнт в'язкості будівельної суміші.

На рис. 2 показані тимчасові залежності швидкості руху будівельної суміші для трьох значень висоти підйому кінця ділянки шланга, що відводить суміш: $H = 0$; $H = 2,5$ м; $H = 5$ м. Збільшення висоти підйому веде до зменшення середньої швидкості руху суміші, частоти пульсацій (зменшується частота обертання ротора). При цьому розмахи пульсацій швидкості збільшуються.

Графіки рис. 3 представляють аналогічні залежності для трьох значень довжини шланга, що відводить суміш: $l_2 = 5$ м; $l_2 = 7,5$ м; $l_2 = 10$ м. У цих розрахунках висота підйому кінця шланга, що відводить $H = 1$ м. Наслідком збільшення довжини шланга також є зменшення середньої швидкості руху суміші, частоти пульсацій. Проте розмахи пульсацій швидкості для вказаного набору параметрів міняються не значно.

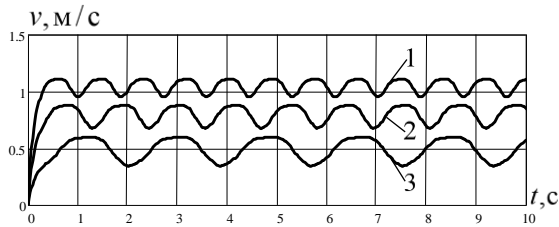


Рис. 2. Швидкість руху розчину
(1 – $H = 0$; 2 – $H = 2,5\text{ м}$; 3 – $H = 5\text{ м}$)

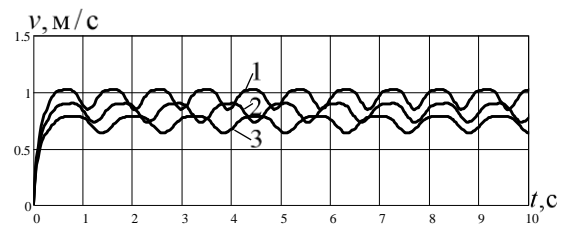


Рис. 3. Швидкість руху розчину
(1 – $l_2 = 5\text{ м}$; 2 – $l_2 = 7,5\text{ м}$; 3 – $l_2 = 10\text{ м}$)

Висновки. Відтак, можна впевнено стверджувати, що запропонована конструкція перистальтичної бетонопомпи з витискними променевими призмами та конусними котками має ряд особливостей:

1. простота конструкції роторної частини камери-призми;
2. простота обслуговування при складанні та розкладанні витискувачів;
3. незначна металоємність камер для призми;
4. термін експлуатації бетонопомп збільшиться, бо при натисканні на шланг діюча сила тертя ковзання і сила тертя кочення по шлангу значно знижують його зношення;
5. для виготовлення пластмасових гнізд камер для призми достатньо елементарної бази та простих пластиків.

Проведені дослідження динамічних процесів за допомогою створеної моделі дозволили встановити важливі технологічні закономірності функціонування пристрою.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Волков Д.П., Крикун В.Я. Строительные машины. Учебник для вузов, изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Изд-во «Ассоциация строительных вузов», 2002. 373 с.
2. Чемерис В.Т., Чемерис А.Т. А.с. 531927 СССР. Перистальтический насос. Оpubл. 1976, Б.И. №38.
3. Банелов В.Е. и др. А.с. 931959 СССР. Перистальтический насос. Оpubл. 1982, Б.И. №20.
4. Патент GB №2102504 А, 02.02.1983. Peristaltic pump / Thomas John McNeel Robertson, Norman David Leaman.
5. Патент DE №OS 3243784, 30.05.1984. Schlauchpumpe, ist besondere zum Fordern von Beton. Bender, Horst.
6. Патент JP №59-22076, Шланговый насос для перекачки бетонной смеси. Кёкутокайхацу коге К.К.
7. Патент RU №2177501, 27.10.2001. Ротационный насос / Султанов Б.З., Ихсанов Д.Ф. Бюл. № 30 27.10.2001.
8. Патент US №4441867, 20.10.1981. Peristaltic pump / Rudolph Berelson.
9. Перистальтические насосы. НПФ Экотехника. 2003. URL: <http://www.ecotechnica.nm.ru>.
10. Емельянова И.А., Клименко М.В., Яковлев Е.А., Задорожный А.А., Чайка Д.О. Состояние проблемы использования бетононасосов в условиях строительных площадок. Науковий вісник будівництва. 2015. № 1. С. 210-214.

REFERENCES:

1. Volkov D.P., Krikun V.Ya. Stroitelnyye mashiny. Uchebnik dlya vuzov, izd. 2-e, pererab. i dop. M.: Izd-vo «Assotsiatsiya stroitelnykh vuzov». 2002. 373 s.
2. Chemeris V.T., Chemeris A.T.A.s. 531927 SSSR. Peristalticheskiy nasos. Opubl. 1976. B.I. №38.
3. A.s. 931959 SSSR. Peristalticheskiy nasos / V.E. Banelov i dr. Opubl. 1982. B.I. №20.
4. Patent GB №2102504 A. 02.02.1983. Peristaltic pump / Thomas John McNeel Robertson. Norman David Leaman.
5. Patent DE №OS 3243784. 30.05.1984. Schlauchpumpe. isbesonderezum Fordern von Beton. Bender. Horst.
6. Patent JP №59-22076. Shlangovyy nasos dlya perekachki betonnoy smesi. Kekutokaykhatsukoге K.K.
7. Patent RU №2177501. 27.10.2001. Rotatsionnyy nasos / Sultanov B.Z., Ikhsanov D.F. Byul. №30 27.10.2001.
8. Patent US №4441867. 20.10.1981. Peristaltic pump / Rudolph Berelson.
9. Peristalticheskiye nasosy. NPF Ekotekhnika. 2003. URL: <http://www.ecotechnica.nm.ru>.
10. Emelianova I.A., Klimenko M.V., Yakovlev E.A., Zadorozhnyy A.A., Chayka D.O. Sostoyaniye problemy ispolzovaniya betononasosov v usloviyakh stroitelnykh ploshchadok. Naukoviy visnik budivnitstva. 2015. № 1. S. 210-214.
11. Emelianova I.A., Zadorozhnyy A.O., Klimenko M.V., Chayka D.O. Patent 112585. Ukraїna MPK

11. Смельянова І.А., Задорожний А.О., Клименко М.В., Чайка Д.О. Патент 112585, Україна МПК (2006.01) FD4B43/12FD4B/15.2 Універсальний шланговий бетононасос. Заявник та одержувач – Харківський національний університет будівництва та архітектури; заявл. 22.12.2014; публ. 29.09.2016, бюл. № 18.
12. Смельянова І.А., Дерев'янко М.І., Клименко М.В. Патент 112585, Україна МПК F04B43/12 (2006.01)F04B15 (2006.01) E04G21/04 (2006.01) Шланговий роторний бетононасос з вібраторами. UA. Заявник та одержувач – Харківський національний університет будівництва та архітектури; заявл. 23.02.2016; публ. 11.12.2017, бюл. № 16.
13. Емельянова И.А., Задорожный А.А., Меленцов Н.А. Особенности движения бетонной смеси при открытом шиберным устройством гидравлического бетононасоса. Материали XIX міжнародної науково-технічної конференції «Гідротехніка в інженерній практиці». Кіровоград, УкрГідроліка, 2014. С. 54-55.
14. Клименко М.В. К устройству шаровой мельницы с дополнительной функцией. Науковий вісник будівництва. 2012. № 69. С. 245-250.
15. Шатохин В.М., Дерев'янко Н.І., Гранько Б.Ф., Клименко М.В. К динамике роторной резонансной шаровой мельницы с одним шаром и двумя степенями свободы. Науковий вісник будівництва. 2018. Т. 92. № 2. С. 241- 244.
16. Кабусь О.В., Буцька Л.М. Проблеми збереження рухливості товарної бетонної суміші під час транспортування. Науковий вісник будівництва. 2018. Т. 92. № 2. С. 214- 219.
17. Епоян С.М., Сухоруков Г.І., Яркін В.А., Ісакієва О.Г., Сорокіна В.Ю. Інтенсифікація роботи вихрового змішувача. Науковий вісник будівництва. 2020. Т. 100. № 2. С. 218-224.
18. Шатохин В.М., Гранько Б.Ф., Соболев В.М. Моделирование вибрационных процессов в шланговом бетононасосе с гидроприводом. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. № 2 (97). С. 22- 32.
19. Гидромоторы MR, технические характеристики. URL: http://www.gik43.ru/equipment/motors/gidromotory_mr.
- (2006.01) FD4B43/12FD4B/15.2 Universalniy shlangoviy betononasos. Zayavnik ta oderzhuvach – Kharkivskiy natsionalniy universitet budivnitsstva ta arkhitekturi; zayavl. 22.12.2014; publ. 29.09.2016. byul. № 18.
12. Emelianova I.A., Derev'yanko M.I., Klimenko M.V. Patent 112585. Ukraïna MPK F04V43/12 (2006.01) F04B15 (2006.01) E04G21/04 (2006.01) Shlangoviy rotorniy betononasos z vibratorami. UA. Zayavnik ta oderzhuvach – Kharkivskiy natsionalniy universitet budivnitsstva ta arkhitekturi; zayavl. 23.02.2016; publ. 11.12.2017. byul. № 16.
13. Emelianova I.A., Zadorozhnyy A.A., Melentsov N.A. Osobennosti dvizheniya betonnoy smesi pri otkrytom shibernym ustroystvom gidravlicheskogo betononasosa. Materiali XIX mizhnarodnoï naukovo-tekhnichnoï konferentsii «Gidrotekhnika v inzhenerniy praktitsi». Kirovograd. Ukrgidravlika. 2014. S. 54-55.
14. Klimenko M.V. K ustroystvu sharovoy melnitsy s dopolnitelnoy funktsiyey. Naukoviy visnik budivnitsstva. 2012. № 69. S. 245-250.
15. Shatokhin V.M., Derevyanko N.I., Granko B.F., Klimenko M.V. K dinamike rotornoy rezonansnoy sharovoy melnitsy s odnim sharom i dvumya stepenyami svobody. Naukoviy visnik budivnitsstva. 2018. T. 92. № 2. S. 241-244.
16. Kabus O.V., Butska L.M. Problemi zberezheniya rukhlivosti tovarnoï betonnoï sumishi pid chas transportuvannya. Naukoviy visnik budivnitsstva. 2018. T. 92. № 2. S. 214-219.
17. Epoyan S.M., Sukhorukov G.I., Yarkin V.A., Isakieva O.G., Sorokina V.Yu. Intensifikatsiya roboti vikhrovogo zmishuvacha. Naukoviy visnik budivnitsstva. 2020. T. 100. № 2. S. 218-224.
18. Shatokhin V.M., Granko B.F., Sobol V.M. Modelirovaniye vibratsionnykh protsessov v shlangovom betononase s gidroprivodom. Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnologiyakh. 2020. № 2 (97). S. 22- 32.
19. Gidromotory MR. tekhnicheskiye kharakteristiki. URL: http://www.gik43.ru/equipment/motors/gidromotory_mr.

Shatokhin V.M., Derev'yancko M.I., Yakovlev Ye.A., Honcharova Z.V., Klymenko M.V. TO THE CONSTRUCTION OF A PERISTALTIC CONCRETE PUMP WITH SURVIVING PRISMS AND CONE ROLLERS. In the article the construction of hose peristaltic concrete pump is offered from sectoral squeeze radial prisms plenty of that is concentrated in the zone of squeezing-out of concrete along to the hose. Marked, that peristaltic wave that appears along to the hose, when squeeze a cone skating rink rolls on overhead part of prisms at the same time the underbody of prisms together with nearby prisms squeezes a hose, results in moving along to the hose of concrete up to the squeezing-out of him in the place of concreting of building construction. It is deduced that at such pressure on a hose force of friction of skidding and force of friction of wobbling on a hose considerably reduce a wear to the hose unlike the traditional displacers of concrete.

Key words: peristaltic concrete pump, sectors chambers, sectoral squeeze prisms, cone rollers, concrete mixture, main shaft, main gearbox, additional gearbox, sprung axes of the rollers, synchronous rotation of skating rinks.