

Засновники:

Українська академія наук,
Київський національний університет
будівництва і архітектури

ЗМІСТ:

Редакційна колегія:

Андріанов В.П.;
Беркута А.В., к.т.н.;
Бойко І.П., д.т.н.;
Друкований М.Ф., д.т.н.;
Дудар І.Н., д.т.н.;
Лагутін Г.В., д.т.н.;
Лівінський О.М., д.т.н.;
Менейлюк О.І., д.т.н.;
Микитась М.В.;
Назаренко І.І., д.т.н. (Головн. редактор);
Оніпко О.Ф., д.т.н.;
Савицький М.В., д.т.н.;
Смірнов В.М., к.т.н.;
Терновий В.І., к.т.н. (Відповід. секретар);
Тугай О.А., д.т.н. (Заст. головн. ред.);
Черненко В.К., д.т.н.
Басараб В.А., к.т.н. (Комп'ютерна верстка)

*Статті друкуються в авторській редакції
Відповідальність за достовірність даних у
відкритому друку несуть автори.*

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Київського національного університету
будівництва і архітектури Протокол №38*

Свиридюк Д.Я.

Обґрунтування фізичної моделі лабораторного змішувача
при формуванні контрольних зразків бетону.....3

Шаляпіна Т.С.

Модель – програма «ЕКОНОМБУДМАШ»
визначення оптимального складу оборотного фонду
машин будівельного підприємства.....6

Саленко Ю.С.

Исследования вибрационного оборудования для
обработки бетонных смесей.....9

Иткин А.Ф.

Разработка вибриционной площадки с
вертикальными колебаниями и пригрузочной плитой.....12

Назаренко І.І., Клименко М.О.

Дослідження енергії системи «барабан-суміш» в робочому
режимі перемішування з урахуванням форми барабана.....15

Голубничий А.В.

Мінералоутворення при нагріві гідратованих в'язучих
з рідким склом, шлаками металічного марганцю
і кольоровими.....20

Мартинцев В.С.

Вплив гідродинамічної кавітації
на робочі органи змішувачів.....23

Мацюк Б. В.

Оцінка конструктивних елементів
вібраційного грохота.....26

Колин В.М., Часовщик Ю.Я.

О эффективности сочетания разных средств борьбы с
вредными вибрациями и шумом при обработке каменных
материалов.....29

Лилов О.В.

Сучасні організаційні схеми реалізації інвестиційно-
будівельного проекту девелоперською компанією.....33

УДК 693.242.523

Свиридюк Д.Я.¹

ОБГРУНТУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ЛАБОРАТОРНОГО ЗМІШУВАЧА ПРИ ФОРМУВАННІ КОНТРОЛЬНИХ ЗРАЗКІВ БЕТОНУ

АНОТАЦІЯ. Розглянуто різні фізичні моделі бетонозмішувачів гравітаційної та примусової дії. Зроблено оцінку найбільш ефективних змішувачів.

Ключові слова: гравітаційний змішувач, змішувач примусової дії, планетарний привід, циклічний, роторний, лопатевий механізм.

SUMMARY. Different physical models gravity concrete and forced action. The estimation of the most efficient mixers.

Keywords: gravity mixer, forced action mixer, a planetary drive, cyclical, rotary, vane mechanism.

Актуальність проблеми. Порівнюючи бетонозмішувальне обладнання вітчизняних та зарубіжних виробників, можна констатувати наступне. Перш за все, відомо, що всі бетонозмішувачі за способом змішування діляться на два класи: з вільним змішуванням матеріалів (гравітаційні) і з примусовим. Відомо, що гравітаційні змішувачі найбільш доцільно використовувати для приготування більш пластичних сумішей, тобто сумішей, що мають менший питомий опір при їх змішуванні; для приготування жорстких бетонних сумішей найбільш ефективні змішувачі з

примусовим змішуванням матеріалів. Крім перерахованих двох основних «класичних» типів змішувачів - гравітаційних і примусових - також на розчинозмішувальних установках застосовуються турбулентні, вібраційні, дезінтеграторні і струменеві змішувачі.

Метою даної роботи є вибір найбільш раціональної фізичної моделі лабораторного змішувача.

Оцінка існуючих конструкцій бетонозмішувачів. Гравітаційні змішувачі по конструкції можуть бути розбиті на три основні групи:

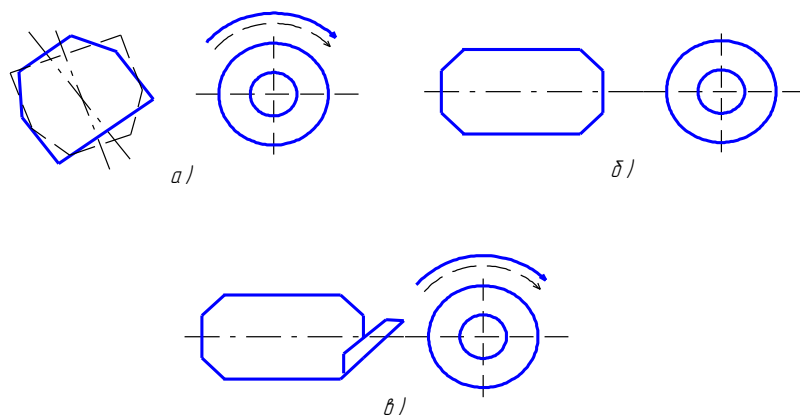


Рисунок 1. Схема гравітаційних змішувачів:

а) - перекидного, б) - реверсивного, в) - неперекидного з вивантажувальним лотком

а) перекидні з грушоподібним барабаном, у якого завантаження складових і вивантаження суміші відбуваються з одного відкритого торця.

б) перекидні з двоконусним барабаном, у якого завантаження і вивантаження, в залежності від розташування змішувача на заводі (гніздове або лінійне), може проводитися з одного або двох протилежних торців барабана.

в) неперекидні реверсивні, завантаження і вивантаження матеріалу в такому змішувачі відбувається з двох протилежних сторін, причому під час завантаження і змішування барабан обертається в одну сторону, а при розвантаженні - в протилежну.

в) неперекидні з вивантажувальним лотком. Під час завантаження, змішування і вивантаження барабан обертається в одну і ту ж сторону. Після закінчення змішування всередину барабана вводиться розвантажувальний лоток, по якому бетонна суміш видаляється з барабана.

Циклічні змішувачі з примусовим змішуванням можуть бути розділені на дві групи:

- з коритоподібним корпусом, з горизонтально розташованим одним або двома змішувальними валами.

- з корпусом-чашею циліндричної форми, з вертикально розташованими одним або декількома

¹ Свиридюк Д.Я., аспірант (КНУБА, Київ).

змішувальними валами.

На рис. 2 представлені основні типи змішувальних апаратів з примусовим змішуванням.

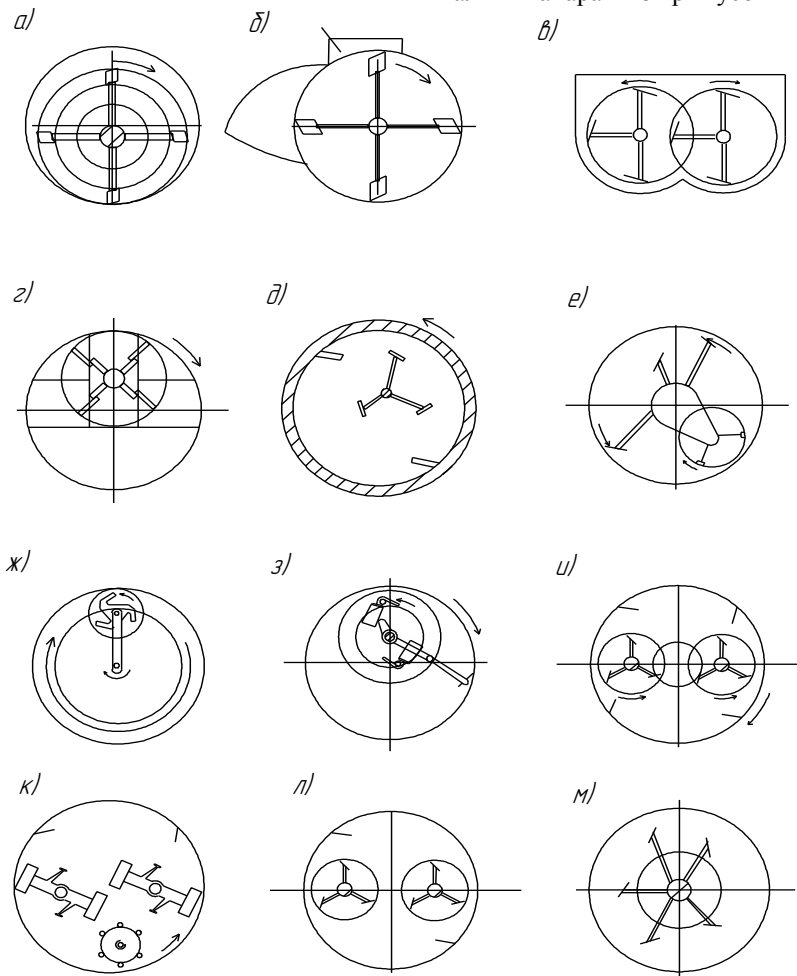


Рисунок 2. Основні типи змішувальних апаратів з примусовим змішуванням.

Циклічні змішувачі з коритоподібним корпусом і горизонтально розташованими змішувальними валами:

а) з одним змішувальним валом і вивантаженням шляхом перекидання (рис. 2, а).

б) з одним змішувальним валом і вивантаженням через люк, що знаходиться в нижній частині корпусу (рис. 2, б).

в) з двома змішувальними валами і з донним розвантаженням через люк (рис. 2, в).

Циклічні змішувачі з циліндричним корпусом-чашею і вертикально розташованими валами:

г) протипотоковий з одночасним обертанням чаші і змішувальних валів. Чаша в іншому виконанні може бути і нерухомою. Очищення вертикальної поверхні чаші від налипання суміші може відбуватися або нерухомими шкребками при обертанні чаші, або при нерухомій чаші шкребками, що обертаються. Вивантаження - перекиданням. (рис. 2, г).

д) з обертовою чашею, лопаті можуть мати свій привід і не мати його, а обертатися тільки від контакту з рухомою сумішшю. Очищення - нерухомими шкребками. Вивантаження - перекиданням. (рис. 2, д).

е) чаша нерухома, лопаті обертаються на центральному валу. Одна з лопатей замінена на вал зі

своїми лопатями і має планетарний привід від центрального валу. Очищення - обертаючими лопатями. Вивантаження - донне. (рис. 2, е).

ж) чаша нерухома. Дві системи змішувальних лопатей обертаються за принципом протитечії. Очищення - обертовою лопаттю, що подає матеріал під другу систему лопатей. Вивантаження - донне. (рис. 2, ж).

з) протипотоковий змішувач з обертовою чашею і лопатями. Очищення - нерухомою лопаттю зі змінним радіусом. Вивантаження - донне. (рис. 2, з).

и) протипотоковий змішувач з обертовою чашею і лопатями. Очищення - нерухомими шкребками. Вивантаження - донне. (рис. 2, и).

к) протипотоковий бігунковий змішувач з обертовою чашею. Додатково всередині чаші встановлений ротор з пальцями, що має окремий привід. Очищення - нерухомими шкребками. Вивантаження - донне. (рис. 2, к).

л) планетарний змішувач, який має нерухома чашу і один обертовий центральний вал, від якого за допомогою планетарної передачі провідиться в обертання навколо своїх осей два вала зі змішувальними лопатями. Очищення - лопатями, що обертаються від центрального вала. Вивантаження - донне. (рис. 2, л).

м) турбінний змішувач з нерухомою чашею. Очищення - обертовими лопатями. Вивантаження - донне. (рис. 2, м).

В цілому ж щодо цих двох класів змішувачів слід зазначити, що змішувачі з примусовим змішуванням будь-яких матеріалів забезпечують приготування сумішей більш високої якості за ступенем однорідності. І це пов'язано не тільки з тим, що в цих змішувачах змішуються компоненти піддаються механічному впливу з боку змішуючого пристрою, а головне, з тим, яка кількість цих впливів в одиницю часу забезпечує змішуюче пристрій.

Аналіз існуючих конструкцій бетонозмішувачів, відповідно до запропонованої класифікації, дозволяє визначити потенційні можливості конструкції змішувального пристрою і в основному визначити область застосування. Так, найменший ефект при змішуванні слід очікувати в бетонозмішувачах з вільним змішуванням матеріалів, у яких змішуються компоненти мають лише дві складові руху, а змішування здійснюється тільки постійними рухами - обертальними і поступальними.

Найбільший ефект можна очікувати при приготуванні різних сумішей в віброзмішувачах, де змішувальні компоненти можуть мати до п'яти складових рухів, а змішування здійснюється одночасно поступальними і обертальними, довільно змінюючимися в часі, рухами компонентів суміші. Тобто, в даних змішувачах змішувальні компоненти отримують найбільшу кількість впливів за одиницю часу з боку змішувального механізму. Однак у силу низької надійності віброзмішувачів вони до теперішнього часу не знаходять належного застосування і не випускаються в промисловості. Враховуючи останню обставину, слід віддати належне групі змішувачів з примусовим змішуванням матеріалів, що мають в якості змішуючого пристрою або вертикальний лопатевий ротор, або планетарний змішуючий механізм, або механізм у вигляді двох горизонтально встановлених лопатевих валів, що обертаються назустріч один одному. Основними перевагами цих змішувачів є простота конструкції і висока надійність, невисока вартість, хороший доступ зсередини і зовні для проведення ремонтно-технічних

робіт, швидкий, простий і недорогий догляд і ремонтне обслуговування основних вузлів. Однак на змішувачах такого типу важко отримати хорошу однорідність в мікрооб'ємах для дрібнозернистих бетонів. У змішувачах цієї групи змішуються компоненти мають не менше чотирьох складових рухів, а змішування в них здійснюється, як правило, одночасно поступальними і обертальними рухами, що носять періодичний характер зміни в часі за напрямком.

На думку більшості вчених, обидва основні типи існуючих змішувачів (гравітаційний та примусовий) не можуть гарантувати якість змішування. Основний недолік - слабе протікання дифузійних процесів на рівні мікрооб'ємів, в результаті чого, при формування виробів з сумішей, виготовлених в таких змішувачах, з'являються дефекти, концентратори напружень та інші чинники, що знижують їх механічні властивості.

Промисловий досвід експлуатації бетонозмішувального устаткування показує, що однією з причин зниження міцнісних показників бетонних і залізобетонних конструкцій і, відповідно, терміну їх служби є неоднорідний склад бетонної суміші. А причиною цього значною мірою є саме невисока якість бетону, що видається змішувачем. Таким чином, підвищення інтенсивності процесів змішування стає можливим тільки при використанні нових ефектів впливу.

Одним з таких ефектів є вібрація змішуючого пристрою, бо вона значно зменшує в'язкість сумішей, що й обумовлює інтенсифікацію дифузійних процесів змішування. Але це вібрація, а значить, питання, пов'язані з надійністю і строком служби устаткування. Порівнюючи технічні характеристики вітчизняних і аналогічних типів змішувачів зарубіжних виробників (Німеччини, Італії, Франції та ін), слід відзначити більш високі показники зарубіжних за питомими енерговитратами, по питомої матеріаломісткості, за естетичним і ергономічним показникам. Однак, в силу єдності принципів і закономірностей процесу змішування як у тих, так і інших змішувачах відсутні якінебудь істотні відмінності, як за функціональними можливостями, так і за якістю готуються сумішей.

Висновки

Значні потенційні можливості щодо вдосконалення змішувальної техніки закладені, насамперед, в орієнтації її конструктивно-технологічних параметрів на приготування сумішей з певними реологічними властивостями; у використанні швидкісного змішування в межах докритичних швидкостей змішуючого пристрою; у створенні активних змішувальних пристроїв, що забезпечують максимальну кількість складових рухів компонентів суміші, різних по виду і характеру зміни в часі і, нарешті, у використанні для приводу змішувальних пристроїв в стаціонарних змішувачах гідравлічного приводу, що дозволяє при необхідності: регулювати і задавати, необхідну для приготування даних сумішей, частоту обертання змішувального пристрою, а також регулювати і створювати необхідний крутий момент на лопатевих валах.

Метою подальшої роботи є дослідження та створення ефективного бетонозмішувального обладнання з комбінованими робочими органами для приготування будівельних сумішей різного призначення

Література

1. Назаренко І.І. Машина для виробництва будівельних матеріалів: [підруч.] / І.І. Назаренко. – К.: КНУБА, 1999. – 488 с.

2. Богомолов А. А. Анализ влияния конструкции бетоносмесителей на однородность смеси / А.А. Богомолов, М.В. Бунин //– В кн.: Конструирование и динамическое исследование узлов механического оборудования предприятий строительных материалов. – Тр. Моск. инж.-строит. ин-т и Белгород. технол. ин-т строит. матер., 1974, вып. 2, с. 51–60.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона: [учебн. пособ.] / Ю.М. Баженов. – М.: Высшая школа, 1987 г.– 415 с.: ил.
4. Бауман В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А.Бауман. М: Машиностроение, 1975 г. – 351 с., ил.
5. Серебrenников А.А. Вибрационные смесители (конструкции, исследования, расчеты) / А.А. Серебrenников, В.А. Кузьмичев. – М.: «Недра», 1999 – 148 с.

УДК 666.97

Шаляпіна Т.С.¹

МОДЕЛЬ – ПРОГРАМА «ЕКОНОМБУДМАШ» ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ ОБОРОТНОГО ФОНДУ МАШИН БУДІВЕЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Анотація. Розроблено програмний модуль для визначення оборотного фонду машин будівельного підприємства. Передбачено підбір комплекту машин для виконання будівельних робіт за критеріями мобільності комплекту мінімальної енергоємності та максимальної продуктивності.

Annotation. Software module was designed to determinate a revolving fund of machines of building enterprises. Also provided selection of machines for building works for such criteria as mobility, energy saving and maximum productivity.

Актуальність роботи. Технологічно-організаційні аспекти сучасного стану оборотного фонду будівельних машин в будівельних підприємствах потребують доопрацювання та уточнення. Перш за все це стосується методологічних основ успішного ведення бізнесу в сферах використання будівельних машин із урахуванням цілої низки критеріїв оцінки ефективності будівельного проекту в повній взаємодії із можливими ресурсами на виконання будівельних робіт.

Аналіз існуючих досліджень. Існуючі стратегії дослідження успіху за рахунок поліпшення та застосування застарілих машин, вдосконалення деяких елементів конструкції застарілих машин, збільшення кількості використання неефективних машин мають бути замінені новою маркетинговою філософією [7, 8]: науково-обґрунтована методика застосування комплексу машин будівельного підприємства на засадах загальної теорії надійності, критеріїв ефективності і цінової політики для обраних цільових девелоперських контрактів більш ефективними, ніж тепер існуючими методами. [2, 6]

Мета роботи. Розробка програмного модуля визначення оптимального складу оборотного фонду машин будівельного підприємства на основі обґрунтованих критеріїв мобільності комплекту машин, мінімальної енергоємності та максимальної продуктивності.

Методика досліджень. Методика досліджень для науково-обґрунтованого підходу формування моделі – програми формувалася на основі оцінки методологічних аспектів управлінських рішень, аналізу

моделі, оцінки досліджень по комплектуванню засобів механізації та теорії надійності.

Розвитку методологічних аспектів, пошуку нових рішень формування, організації, технології будівельного виробництва та управління діяльністю будівельних підприємств присвячені дослідження вітчизняних вчених Аніна В.І., Бондар О.А., Бушуєва С.Д., Гончаренка Д.Ф., Друкованого М.Ф., Кулікова П.М., Лагутіна Г.В., Лича В.М., Рижакіної Г.М., Сердюка В.Р., Снісаренка В.І., Торкатюка В.І., Тяна Р.Б., Ушацького С.А., Федоренка В.Г., Черненко В.К. і інш.

Суттєвий вклад в розвиток аналітичних моделей, визначення структур парків машин і механізмів (ПММ) будівельних підприємств (БП) внесли вчені Біляков Ю.І., Галицький В.С., Доценко В.І., Канюка М.С., Лівінський О.М., Молодецький В.Р., Поколенко В.О., Тугай О.А. і інш.

Дослідження та створення засобів механізації і автоматизації будівельних процесів приведені в роботах Баладинського В.Л., Ємельянової І.А., Кудрявцева Є.М., Маслова О.Г., Назаренка І.І., Холодова А.М., Хмари Л.А., Яковенка В.Б. і інш.

Науковою базою визначення ефективності ПММ, забезпечення заданих технологією параметрів слугує класична теорія надійності систем, основи системного аналізу і синтезу, теорія вірогідностей і математична статистика, що найшли відображення в роботах Венцель Е.С., Гнеденка Б.В., Грига Д.В., Гриффита А., Коваленка І.М., Луйка І.А., Маркова В.А., Решке Х. і інш.

Разом з тим, наявність на ринку України значної кількості закордонних засобів механізації, розви-

ток каркасно-монолітного будівництва, поширення девелоперського управління потребують обґрунтування раціонального вибору нової техніки і в тому числі оцінки надійності існуючої техніки.

Результати досліджень. Для побудови структурної схеми комплектів в роботі застосовується системний підхід з функціональними блоками: "входом", "процесом" і "виходом". На базі сформульованих критеріїв якості розроблена структурна система «Будівельні матеріали – комплект машин – будівельний майданчик».

На ефективність функціонування системи впливають велика кількість факторів, що визначають технологічні, кліматичні і режимні умови експлуатації МБК, а також фізико-механічні властивості компонентів будівельних матеріалів і готових сумішей.

Для математичного опису предметної області та аналізу умов створення нових конструкцій МБМК застосовуються і визначаються рекомендації з формування вимог до об'єкта дослідження (елементи системного аналізу), забезпечення заданої продуктивності (основи теорії надійності), аналізу якості робіт (основи технології будівельного будівництва), що впливають на собівартість виробу. Це і є принцип моделювання структури мобільних комплектів будівельних машин та вибору раціональних параметрів і технічних рішень.

У загальному вигляді критерії вибору КМ складають систему рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} K_M = f(T_T, T_{M-д}, m_{min}, X, Y, Z); \\ K_{ПР} = f(\Pi, G, t_3, t_\Pi, t_E, t_{gmin}, t_{Tmin}); \\ \\ K_e = f(E_{max}, E_M, E_T, E_e, E_{доп}), \end{array} \right\} \quad (1)$$

Де $K_M, K_{\text{ПР}}, K_e$ – критерії мобільності, продуктивності, ефективності; T_T – мінімальні затрати часу перебазування (транспортування); $T_{\text{М-Д}}$ – мінімальні затрати часу на перебазування монтажу-демонтажу; m_{min} – мінімальна маса; Π – розрахункова потреба будівельної організації в бетонній суміші; G – ємності барабанів; t_3 – час завантаження; $t_{\text{П}}$ – час перемішування; $t_{\text{В}}$ – час вивантаження; $t_{g\text{min}}$ – мінімальна тривалість дозування; t_{Tmin} – мінімальна тривалість транспортування компонентів суміші в бетонозмішувачі; E_{max} – максимальний ефект; $E_{\text{М}}$ – ефект за рахунок скорочення монтажу-демонтажу; $E_{\text{Т}}$ – ефект за рахунок скорочення транспортування блоків; E_e – ефект за рахунок скорочення дострокового вводу в експлуатацію

Висновки

1. Отримана динамічна модель, виведені аналітичні залежності, які дали можливість встановити закономірності методів формування КМ БП, базові параметри яких визначають стратегію ефективної експлуатації, враховують комплекс заходів і впливів на “життєвий цикл” роботи КМ.
2. Розроблений програмний модуль “ЕКОНОМБУДМАШ” на основі критеріїв мінімізації витрат, максима-

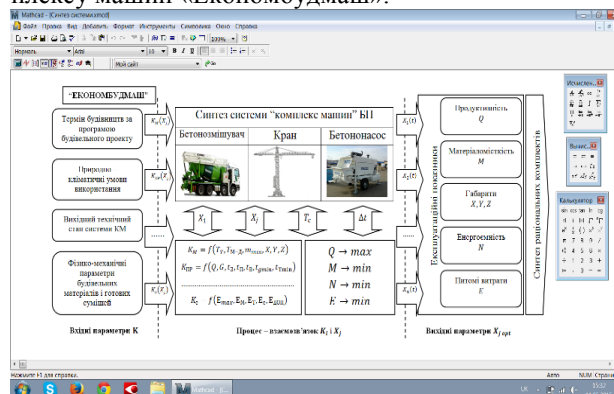
Вибір конструктивних параметрів мобільних комплектів здійснюється за умов оптимізації критеріїв системи рівнянь:

$$\left. \begin{array}{l} K_M \rightarrow \min; \\ K_{\text{ПР}} \\ K_e \end{array} \right\} \rightarrow \max. \quad (2)$$

Рішення багатокритеріальної задачі оптимізації, що заключається у виборі раціональних параметрів формування комплексу із системи рівнянь (1) при умові (2) здійснюється за критерієм K_M , який головним чином визначає специфічне призначення КМ.

Розробка комплексу полягає у виборі визначних параметрів із системи рівнянь (1) при виконанні умови (2), що дозволяє вибрати із сукупності проектів кращий і таким чином забезпечує екстремальне значення обраного критерію (у даному випадку - це критерій мобільності K_M), всі інші критерії враховуються в процесі вибору та обґрунтування КМ.

Виходячи із можливих варіантів технології будівництва була запропонована схема формування КМ та алгоритм вибору раціональних конструктивно-компоновочних рішень КМ. За алгоритмом та комплексом проведених досліджень була розроблена узагальнена модель-програма розрахунку (рис. 1) комплексу машин «Економбудмаш».



*Рисунок 1. Програмний модуль
«ЕКОНОМБУДМАШ» параметрів і характе-
ристик оборотного фонду машин в рамках девело-
перського контракту.*

Модель-програма в режимі реальних значень об'ємів будівництва, продуктивності комплексу машин сумарного часу виконання запланованих технологічних процесів дає можливість реалізувати задану програму девелоперського контракту з мінімізацією енергетичних складових максимальною продуктивністю та найбільш раціональним вибором маршруту доставки суміші на об'єкт та здійснити її укладання в конструкцію.

льного прибутку БП, надійності системи КМ. Запропоновані алгоритми та методи вибору параметрів складових системи КМ: “автобетонозмішувач – бетононасос” та “автобетононасос – перевантажувальний бункер – баштовий кран”, які базуються на моделях управління фірмами-девелоперами шляхом інтегрованого розпорядження ресурсами замовника в рамках відведених їхніх повноважень.

Література

1. Инструкция по организации и проведению ремонта строительного-дорожных машин агрегатно-узловым методом. – М.: Минпромстрой СССР, 1975. – 284 с.
2. Канюка Н.С. К оптимальной структуре машинных парков управлений и трестов механизации / Н.С. Канюка, И.В. Красонтович // Механизация строительства. – 1989. – № 1. – С. 18 – 20.
3. Кудайбергенов П.К. Организация эффективного ремонта строительной техники / П.К. Кудайбергенов, Р.К. Кудайбергенов, М.В. Щербак. – М.: Стройиздат, 1990. – 232 с.
4. Кудашов Е.А. Старение строительной техники: состояние, тенденции, перспективы / Е.А. Кудашов // Механизация строительства. – 2003. – № 10. – С. 2 – 5.
5. Кудрявцев Е.М. Оптимизация парка строительных и дорожных машин. Учебное пособие / Е.М. Кудрявцев. – М.: МИСИ, 1987. – 80 с.
6. Кудрявцев Е.М. Теоретические основы комплексной механизации строительства / Е.М. Кудрявцев // Механизация строительства. – 1996. – № 5. – С. 19 – 21.
7. Шаляпіна Т.С. Методи та моделі вибору засобів механізації за умов раціонального управління виробничим процесом [Текст] / Т.С. Шаляпіна // Техніка будівництва. – К. : КНУБА, 2013. – №28, – С. 74–76.
8. Шаляпіна Т.С. Моделювання процедури раціонального вибору засобів механізації при плануванні проекту будівельних робіт [Текст] / Т.С. Шаляпіна // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. Збірник наукових праць. – К. : КНУБА, 2013. Випуск 30, – С. 189–193.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

АНОТАЦІЯ. Досліджено динамічну систему "вібраційний лоток - цементобетонне середовище", встановлено закон руху вібраційного лотка, який коїть одночасно кругові і крутильні коливання, наведені результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: вібраційний лоток, коливання, цементобетонна суміш, обробка.

SUMMARY. The dynamic system "vibrating tray - cement environment", set the motion of the vibrating tray, committing both circular and torsional vibrations, the results of experimental studies.

Keywords: vibrating tray, fluctuations, cement mixture, processing.

Введение. Одновальные бетоносмесители принудительного действия [1...2], предназначены для приготовления пластичных и жестких цементобетонных смесей, бетонов с легким заполнителем и строительных растворов. Эти смесители сочетает в себе высокую эффективность приготовления бетонных смесей с простотой конструктивного исполнения. Имеют сравнительно небольшую металлоемкость. Энергоемкость разработанных одновальных бетоносмесителей принудительного действия [1...2] отвечает требованиям ГОСТ 16349-85 [3] и находится ниже уровня энергоемкости двухвальных бетоносмесителей принудительного действия на 30 – 40%. Однако современное производство требует создания машин и бетоносмесительного оборудования с малой энергоемкостью и высокой износостойкостью рабочих органов. Эти машины должны обеспечивать эффективное приготовление жестких бетонных смесей. Снижения энергоемкости и повышения эффективности процесса приготовления можно достичь путем использования вибрационного оборудования бетоносмесителей принудительного действия. В работе [1] приведены теоретические исследования вибрационного оборудования бетоносмесителя принудительного действия, выполненного в виде вибрационного лотка, симметрично подвешенного на упругих опорах к базовой машине. Рациональным является использование консольной подвески вибрационного лотка к базовой машине при помощи кольцевого амортизатора. Это позволяет упростить конструкцию вибрационного устройства. Наиболее эффективным для вибрационной обработки цементобетонных смесей является использование вибрационного устройства в виде вибрототка, который в процессе работы совершает крутильные (угловые) колебания и оказывает на цементобетонную смесь переменное амплитудно-частотное вибрационное воздействие в момент выпуска ее из смесительной емкости.

Цель и задачи исследования. Целью настоящих исследований является создание теоретических основ проектирования вибрационного оборудования бетоносмесителей принудительного действия для обработки цементобетонных смесей.

Изложение основного материала. На рис.1 представлен бетоносмеситель с вибрационным устройством для вибрационной обработки. Бетоносмеситель

включает станину 1, на которой закреплены привод 2 и корпус в виде барабана 3 с лопастным валом 4, смонтированным в подшипниковых опорах 5, установленных на наружных сторонах торцевых стенок корпуса. Вибрототок 6, выполненный в виде желоба с радиусом, равным 1,05-1,07 радиуса внутренней поверхности корпуса, при помощи упругого элемента 7, выполненного в виде полукольца, смонтирован в торцевой стенке корпуса под выгрузочным отверстием. На вибрототке 6 закреплен вибровозбудитель колебаний 8 с дебалансами 9, установленными на концах вала 10 и смещенными один относительно другого на угол $\alpha = 120-180^\circ$. Вибрототок 6 закреплен относительно горизонтальной оси под углом в $4-6^\circ$ и имеет длину, равную 1,95 – 2,0 радиуса внутренней поверхности корпуса. Выгрузочное отверстие выполнено в торцевой стенке и закрыто шарнирной заслонкой 11.

После окончания механического перемешивания цементобетонная смесь из бетоносмесителя выгружается на вибрационный лоток, где она подвергается вибрационной обработке. В результате повышается качество приготовленной смеси. Для определения характера движения вибрототка рассмотрим расчетную схему динамической системы «вибрототок – обрабатываемая среда» при его полной загрузке цементобетонной смесью (рисунок).

Крутильные и круговые колебания вибрототка относительно осей X , Y и Z , проходящих через центр тяжести рассматриваемой системы (рисунок), можно описать следующей системой уравнений:

$$J_1 \frac{d^2 \psi_1}{dt^2} + n_1 \frac{d\psi_1}{dt} + k_1 \psi_1 \pm M_{mp} = M \sin(0,5\alpha) \sin \omega t ; \quad (1)$$

$$(m + m_{np1}) \frac{d^2 z_1}{dt^2} + b_1 \frac{dz_1}{dt} + c_1 z_1 = 2Q \cos(0,5\alpha) \cos \omega t ; \quad (2)$$

$$(J_2 + J_{\delta z}) \frac{d^2 \psi_2}{dt^2} + n_2 \frac{d\psi_2}{dt} + k_2 \psi_2 = M \sin(0,5\alpha) \cos \omega t ; \quad (3)$$

¹ Саленко Ю.С., докт.техн.наук, доцент

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского.

$$m \frac{d^2 x_1}{dt^2} + b_2 \frac{dx_1}{dt} + c_2 x_1 \pm R = 2Q \cos(0,5\alpha) \sin \omega t; \quad (4)$$

$$(J_{31} + J_{61}) \frac{d^2 \psi_{31}}{dt^2} + n_3 \frac{d\psi_{31}}{dt} + k_3 \psi_{31} = 2Q(l_3 - l_2) \cos(0,5\alpha) \cos \omega t; \quad (5)$$

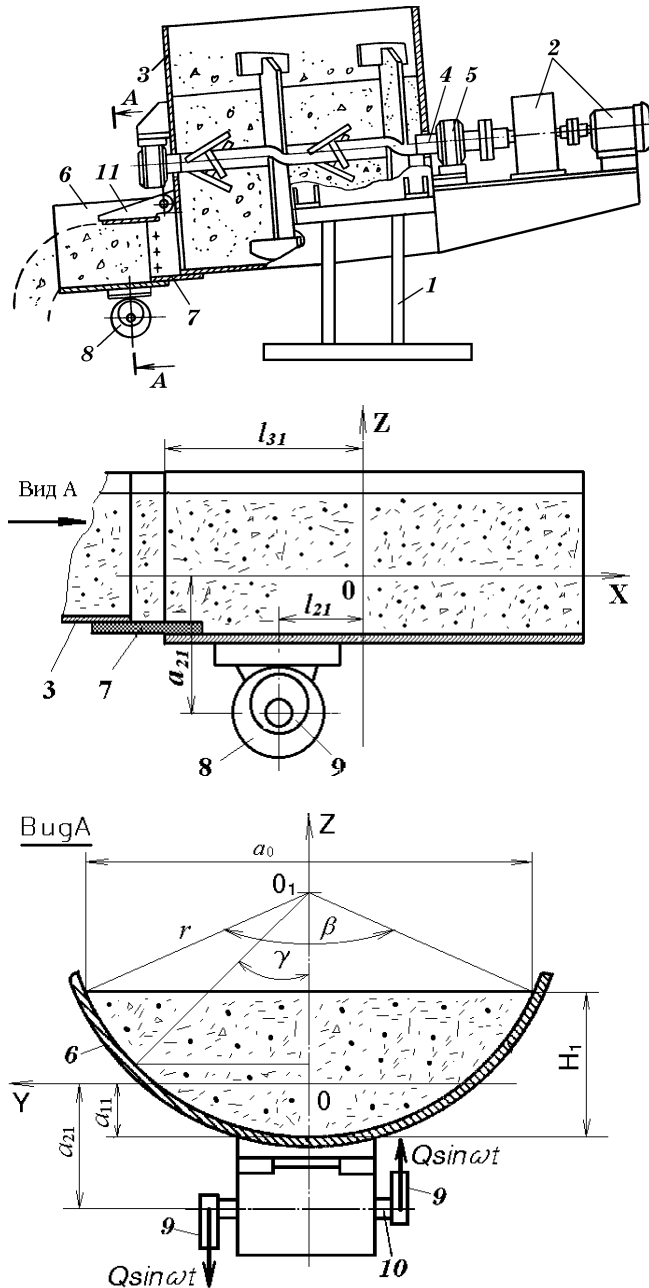


Рис. 1. Расчетная схема динамической системы «вибратор – обрабатываемая среда» при полной загрузке цементобетонной смесью.

$$(J_{30} + J_{60}) \frac{d^2 \psi_{30}}{dt^2} + n_3 \frac{d\psi_{30}}{dt} + k_3 \psi_{30} = 2Q\alpha_2 \cos(0,5\alpha) \sin \omega t, \quad (6)$$

где m – масса вибротка; l_{21} , α_{21} – координаты вибровозбудителя колебаний относительно центра тяжести динамической системы; ψ_1 , ψ_2 – угловые смещения вибротка относительно осей X и Z соответственно; ψ_{30} – угловые смещения вибротка относительно поперечной оси Y ; ψ_{31} – угловые смещения вибротка относительно его переднего торца; J_1 , J_2 – моменты инерции массы вибротка относительно продольной X и вертикальной Z осей; J_{30} , J_{31} – моменты инерции массы вибротка относительно поперечной оси Y и его переднего торца; M – момент возмущающих сил; Q – амплитуда возмущающих сил; $M = Q/l_1$; l_1 – расстояние между дебалансами; ω – угловая частота вынужденных колебаний; k_1 , k_2 , k_3 – коэффициенты крутильной жесткости упругого элемента относительно осей X , Z и Y соответственно; n_1 , n_2 , n_3 – коэффициенты крутильных неупругих сопротивлений упругого элемента относительно осей X , Z и Y соответственно; m_{np1} , m_{np2} – приведенная масса цементобетонной смеси в вертикальном и горизонтальном направлениях; J_{6z} , J_{60} , J_{61} – момент инерции приведенной массы цементобетонной смеси относительно вертикальной оси Z поперечной оси Y и переднего торца вибротка; R и M_{mp} – сила и момент сил трения бетонной смеси о днище вибротка; z_1 , x_1 – линейные перемещения вибротка в направлении координат Z и X под действием гармонических возмущающих сил $2Q \cos(0,5\alpha) \cos \omega t$ и $2Q \cos(0,5\alpha) \sin \omega t$ соответственно; c_1 , c_2 – жесткости и b_1 , b_2 – коэффициенты неупругих сопротивлений упругого элемента в направлении осей Z и X соответственно.

Решения системы уравнений (1 – 6) можно представить в следующем виде:

$$\psi_1 = (\psi_{10} - \psi_{11}) \sin(\omega t - \varphi_{11}) - \psi_{12} \sin(3\omega t - \varphi_{12}) - \psi_{13} \sin(5\omega t - \varphi_{13}); \quad (7)$$

$$\psi_2 = \psi_{21} \cos(\omega t + \varphi_{21}); \quad (8)$$

$$\psi_{30} = \psi_{301} \cos(\omega t + \varphi_{30}); \quad (9)$$

$$\psi_{31} = \psi_{311} \cos(\omega t + \varphi_{31}); \quad (10)$$

$$z_1 = A_1 \cos(\omega t + \theta_1); \quad (11)$$

$$x_1 = (A_{20} - A_{21}) \sin(\omega t - \theta_{21}) - A_{22} \sin(3\omega t - \theta_{22}) - A_{23} \sin(5\omega t - \theta_{23}). \quad (12)$$

Здесь ψ_{10} , ψ_{11} , ψ_{12} , ψ_{13} – амплитуды крутильных гармонических колебаний относительно оси X ,

$$\begin{aligned}\psi_{10} &= M \sin \frac{\alpha}{2} / \sqrt{(k_1 - J_1 \omega^2)^2 + n_1^2 \omega^2}; \\ \psi_{11} &= 4M_{mp} / \left[\pi \sqrt{(k_1 - J_1 \omega^2)^2 + n_1^2 \omega^2} \right]; \\ \psi_{12} &= 4M_{mp} / \left[\pi \sqrt{(k_1 - 9J_1 \omega^2)^2 + 9n_1^2 \omega^2} \right]; \\ \psi_{13} &= 4M_{mp} / \left[\pi \sqrt{(k_1 - 25J_1 \omega^2)^2 + 25n_1^2 \omega^2} \right];\end{aligned}$$

$\varphi_{11}, \varphi_{12}, \varphi_{13}$ – углы сдвига фаз между амплитудами моментов возмущающих сил и амплитудами вынужденных крутильных колебаний для гармоник колебаний относительно оси X соответственно на частотах $\omega, 3\omega, 5\omega$, определяемые из выражений:

$$\begin{aligned}\varphi_{11} &= \arctg [n_1 \omega / (k_1 - J_1 \omega^2)]; \\ \varphi_{12} &= \arctg [3n_1 \omega / (k_1 - 9J_1 \omega^2)]; \\ \varphi_{13} &= \arctg [5n_1 \omega / (k_1 - 25J_1 \omega^2)];\end{aligned}$$

ψ_{21} – амплитуда крутильных гармонических колебаний относительно оси Z ,

$$\psi_{21} = M \sin \frac{\alpha}{2} / \sqrt{[k_2 - (J_2 + J_{\delta z}) \omega^2]^2 + n_2^2 \omega^2}$$

φ_2 – угол сдвига фаз между амплитудами моментов возмущающих сил и амплитудами вынужденных крутильных колебаний относительно оси Z ,

$$\varphi_2 = \arctg \{n_2 \omega / [k_2 - (J_2 + J_{\delta z}) \omega^2]\};$$

ψ_{301}, ψ_{311} – амплитуды крутильных колебаний относительно поперечной оси вибролотка X и его переднего торца;

$$\begin{aligned}\psi_{301} &= \frac{2Q\alpha_{21} \cos(0,5\alpha)}{\sqrt{[k_3 - (J_{30} + J_{\delta 0}) \omega^2]^2 + n_3^2 \omega^2}}; \\ \psi_{311} &= \frac{2Q(l_3 - l_2) \cos(0,5\alpha)}{\sqrt{[k_3 - (J_{30} + J_{\delta 0}) \omega^2]^2 + n_3^2 \omega^2}};\end{aligned}$$

$\varphi_{30}, \varphi_{31}$ – углы сдвига фаз между амплитудами моментов возмущающих сил и амплитудами вынужденных крутильных колебаний поперечной оси вибролотка X и его переднего торца,

$$\begin{aligned}\varphi_{30} &= \arctg \{n_3 \omega / [k_3 - (J_{30} + J_{\delta 0}) \omega^2]\}; \\ \varphi_{31} &= \arctg \{n_3 \omega / [k_3 - (J_{30} + J_{\delta 1}) \omega^2]\};\end{aligned}$$

A_1 – амплитуда гармонических колебаний в направлении оси Z ,

$$A_1 = 2Q \cos \frac{\alpha}{2} / \sqrt{[c_1 - (m + m_{npl}) \omega^2]^2 + b_1^2 \omega^2}$$

θ_1 – угол сдвига фаз между амплитудой возмущаю-

щей силы и амплитудой вынужденных колебаний вибролотка в направлении координаты Z ,

$$\theta_1 = \arctg \{b_1 \omega / [c_1 - (m + m_{npl}) \omega^2]\};$$

$A_{20}, A_{21}, A_{22}, A_{23}$ – амплитуды гармонических колебаний в направлении оси X ,

$$A_{20} = 2Q \cos \frac{\alpha}{2} / \sqrt{(c_2 - m \omega^2)^2 + b_2^2 \omega^2};$$

$$A_{21} = 4R / \left[\pi \sqrt{(c_2 - m \omega^2)^2 + b_2^2 \omega^2} \right];$$

$$A_{22} = 4R / \left[\pi \sqrt{(c_2 - 9m \omega^2)^2 + 9b_2^2 \omega^2} \right];$$

$$A_{23} = 4R / \left[\pi \sqrt{(c_2 - 25m \omega^2)^2 + 25b_2^2 \omega^2} \right];$$

$\theta_{21}, \theta_{22}, \theta_{23}$ – углы сдвига фаз между амплитудами возмущающих сил и амплитудами вынужденных колебаний вибролотка в направлении координаты X ;

$$\theta_{21} = \arctg [b_2 \omega / (c_2 - m \omega^2)];$$

$$\theta_{22} = \arctg [3b_2 \omega / (c_2 - 9m \omega^2)];$$

$$\theta_{23} = \arctg [5b_2 \omega / (c_2 - 25m \omega^2)];$$

Законы движения внутренней поверхности вибролотка, контактирующей с обрабатываемой цементобетонной смесью, можно описать следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}u(y, t) &= \psi_1 [r(1 - \cos \gamma) - \alpha_{11}] + \psi_2 x = \\ &= [r(1 - \cos \gamma) - \alpha_{11}] [(\psi_{10} - \psi_{11}) \sin(\omega t - \varphi_{11})] - \\ &- \psi_{12} \sin(3\omega t - \varphi_{12}) - \psi_{13} \sin(5\omega t - \varphi_{13}) + \\ &+ \psi_{21} x \cos(\omega t + \varphi_2); \quad (13)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}u(x, t) &= \psi_2 r \sin \gamma + x_1 = \psi_{21} r \sin \gamma \times \\ &\times \cos(\omega t + \varphi_2) + (A_{20} - A_{21}) \sin(\omega t - \theta_{21}) - \\ &- A_{22} \sin(3\omega t - \theta_{22}) - A_{23} \sin(5\omega t - \theta_{23}); \quad (14)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}u(z, t) &= \psi_1 r \sin \gamma - \psi_{30} x + \psi_{31} (x + l_{31} - l_{21}) + \\ &+ z_1 = r \sin \gamma [(\psi_{10} - \psi_{11}) \sin(\omega t - \varphi_{11}) - \\ &- \psi_{12} \sin(3\omega t - \varphi_{12}) - \psi_{13} \sin(5\omega t - \varphi_{13})] - \\ &- \psi_{301} x \sin(\omega t - \varphi_{30}) + \psi_{311} (x + l_{31} - l_{21}) \times \\ &\times \cos(\omega t + \varphi_{31}) + A_1 \cos(\omega t + \theta_1). \quad (15)\end{aligned}$$

В результате экспериментальных исследований было установлено, что бетоносмеситель принудительного действия, оснащенный предлагаемым вибрационным оборудованием, обеспечивает качественное приготовление цементобетонных смесей с коэффициентом вариации прочности 1,5 – 3,9%. При этом вдвое уменьшается продолжительность механического перемешивания, что позволяет в 1,8 раза снизить энергоёмкость процесса приготовления цементобетонных смесей. Повышается прочность изделий на

17,0 – 22,8% , что позволяет уменьшить расход цемента на 12 – 15%. Наибольший эффект дает вибра-

ционная обработка цементобетонных смесей жесткостью $J=30-60$ с.

Выводы

Получены теоретические зависимости, позволяющие определить закон движения вибрационного лотка и обосновать рациональные параметры вибрационного оборудования для обработки цементобетонных смесей.

Литература

1. Маслов А.Г. Вибрационные машины и процессы в дорожно-строительном производстве. Монография / А.Г. Маслов, Ю.С. Саленко. – Кременчук: ПП Щербатых О.В., 2014. – 262 с.
2. Маслов А.Г. Вибрационные машины для приготовления и уплотнения бетонных смесей. Монография / А.Г. Маслов, А.Ф. Иткин, Ю.С. Саленко. – Кременчук: ЧП Щербатых А.В., 2014. – 324 с.

УДК 666.97

Иткин А.Ф.¹

РАЗРАБОТКА ВИБРАЦИОННОЙ ПЛОЩАДКИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ И ПРИГРУЗОЧНОЙ ПЛИТОЙ

АНОТАЦІЯ. *Описано конструкція і принцип дії вібраційної площадки з вертикальними коливаннями і пригрузочною плитою, призначеної для формування бетонних і залізобетонних виробів з жорстких цементобетонних сумішей. Отримано залежності, що описують вимушені коливання віброуючої рами віброплощадки і пригрузочної плити в робочому режимі формування бетонних виробів.*

Ключові слова: *вібраційна площадка, конструкція, ущільнюване середовище, закон руху.*

SUMMARY. *The design and principle of operation of the vibration platform with vertical fluctuations and plate for crushing, intended for the molding of concrete products from tough cement concrete mixtures. The dependences describing the forced vibrations of a vibrating frame vibrating pad and plate for crushing the operating mode of the molding of concrete products.*

Keywords: *vibration platform, design, sealed environment, the law of motion.*

Введение. В результате теоретических и экспериментальных исследований [1] было установлено, что виброплощадки, оборудованные вибрирующим столом, имеющим вертикально направленные колебания, целесообразно использовать для формирования малогабаритных бетонных и железобетонных изделий. В случае оснащения вибрирующих столов, серийно выпускаемыми электромеханическими вибровозбудителями круговых колебаний, виброплощадки могут иметь сравнительно несложную конструкцию [2]. В этом случае должна быть обеспечена устойчивая самосинхронизация вибровозбудителей колебаний, дебалансные валы которых вращаются в противоположном направлении относительно друг друга [3]. Для эффективного уплотнения жестких и сверхжестких бетонных смесей целесообразно использовать пригрузочную плиту, устанавливаемую на бетонную смесь в процессе формирования изделий [4].

Для определения рациональных параметров виброплощадки с вертикальными колебаниями и пригрузочной плитой, отвечающей выше приведенным требованиям необходимо исследовать динамическую систему «виброплощадка – формируемая смесь – пригрузочная плита», в которой уплотняемую смесь целесообразно представить в виде сплошной среды с распределенными параметрами.

Цель и задачи исследования. Целью настоящих исследований является обоснование рациональных параметров виброплощадки на основании исследований распространения волн деформаций в уплотняемой среде.

Изложение основного материала. На рис. 1 представлена схема виброплощадки с вертикальными колебаниями и пригрузочной плитой при виде сбоку. Виброплощадка имеет рамную конструкцию. Несущая часть вибрирующей рамы 1 выполнена из швеллеров, на которых жестко закреплен опорный лист. В качестве амортизаторов 2 используются пружины сжатия. На вибрирующей раме 1 закреплены 2 вибровозбудителя круговых колебаний 4 и 5, дебалансные валы которых 6 и 7 имеют противоположное направление вращения. При этом в основу создания виброплощадок с вертикально направленными колебаниями положен принцип самосинхронизации вибровозбудителей круговых колебаний с противоположным направлением вращения [3].

Для определения закономерностей колебаний виброплощадки с вертикальными колебаниями и пригрузочной плитой, исследуем динамическую систему «виброплощадка – формируемая смесь – пригрузочная плита», в которой уплотняемая смесь представлена в виде сплошной среды с распределенными параметрами.

¹ Иткин А.Ф., докт.техн.наук, доцент

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского.

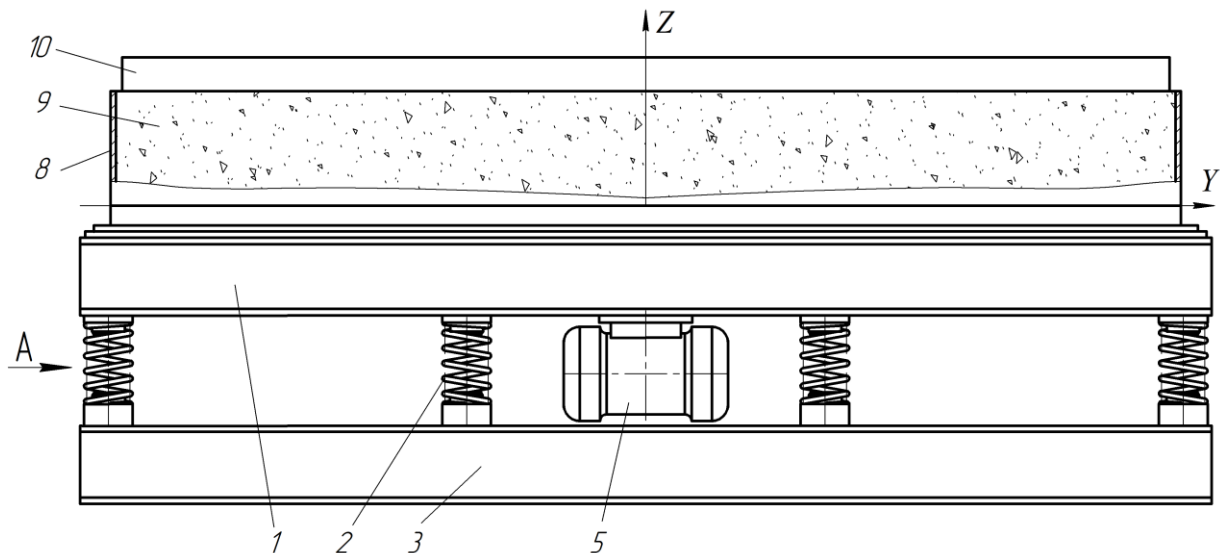


Рисунок 1. Расчетная схема виброплощадки с вертикальными колебаниями и пригрузочной плитой: 1 – вибрирующая рама; 2 – упругие амортизаторы; 3 – опорная рама; 4, 5 – вибровозбудители колебаний; 6, 7 – дебалансы; 8 – форма; 9 – бетонная смесь; 10 – пригрузочная плита.

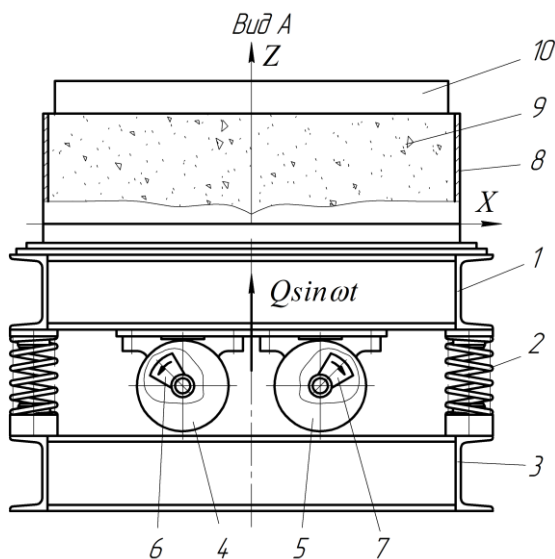


Рисунок 2. Вид А на рис. 1.

Для описания движения уплотняемой смеси в направлении координаты z за время t используем следующее волновое уравнение колебаний [5]:

$$E \frac{\partial^2 \psi(z, t)}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 \psi(z, t)}{\partial z^2 \partial t} = \rho \frac{\partial^2 \psi(z, t)}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где z – координата по оси Z от дна формы до уплотняемой поверхности; ψ – смещение слоя смеси соответствующее координате z ; E – модуль деформации уплотняемой среды при динамической нагрузке; η – коэффициент сопротивления уплотняемой среды при динамической нагрузке; ρ – плотность уплотняемой среды.

Решение волнового уравнения колебаний (1) может быть найдено при следующих граничных условиях:

– при взаимодействии уплотняемой среды с дном формы 1,

$$-m \frac{\partial^2 \psi(0, t)}{\partial t^2} - c_3 \psi(0, t) + EF \frac{\partial \psi(0, t)}{\partial z} + \eta F \frac{\partial^2 \psi(0, t)}{\partial z \partial t} + Q \sin \omega t = 0; \quad (2)$$

– при взаимодействии уплотняемой среды с пригрузочной плитой,

$$EF \frac{\partial \psi(H, t)}{\partial z} + \eta F \frac{\partial^2 \psi(H, t)}{\partial z \partial t} + m_2 \frac{\partial^2 \psi(H, t)}{\partial t^2} = 0, \quad (3)$$

где m – масса вибрирующей рамы вместе с формой; m_2 – масса пригрузочной плиты; c_3 – коэффициент жесткости амортизаторов; Q – амплитуда возмущающих сил вибровозбудителей колебаний; ω – угловая частота вынужденных колебаний; F – площадь дна формы, контактирующая с формируемой бетонной смесью; H – высота формируемого изделия.

Решение волнового уравнения колебаний (1), удовлетворяющее граничным условиям (2 и 3), представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} \psi(z, t) = & \frac{Q}{\sqrt{R_e^2 + R_i^2}} \langle \lambda_2 e^{-\alpha(2H-z)} \times \\ & \times \cos[k(2H-z) + \varphi_2] + \\ & + e^{-\alpha z} \cos kz \rangle \sin(\omega t - \theta) - \\ & - \{ \lambda_2 e^{-\alpha(2H-z)} \sin[k(2H-z) + \varphi_2] + \\ & + e^{-\alpha z} \sin kz \rangle \cos(\omega t - \theta) \rangle. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь R_e и R_i – упругая и диссипативная составляющие динамической характеристики рассматриваемой системы соответственно;

$$R_e = (c_3 - m\omega^2)[1 + e^{-2\alpha H} \lambda_2 \cos(2kH + \varphi_2)] + EF[\alpha - Z_1 \cos(2kH - \varphi_1)] - \eta\omega F[k + Z_1 \sin(2kH - \varphi_1)]; \quad (5)$$

$$R_i = EF[k + Z_1 \sin(2kH - \varphi_1)] + \eta\omega F[\alpha - Z_1 \cos(2kH - \varphi_1) - (c_3 - m\omega^2)e^{-2\alpha H} \times \lambda_2 \sin(2kH + \varphi_2)]; \quad (6)$$

α – коэффициент поглощения,

$$\alpha = \sqrt{\rho\omega^2 \left(-1 + \sqrt{1 + \chi^2} \right) / [2E(1 + \chi^2)]}; \quad (7)$$

$$\chi = \frac{\eta\omega}{E};$$

θ – угол сдвига фаз между упругой и диссипативной составляющих динамической характеристики исследуемой динамической системы,

$$\theta = \arctg \frac{R_i}{R_e}; \quad (8)$$

k – волновое число, $k = \omega/a$; a – скорость распространения возмущения в уплотняемой среде,

$$a = \sqrt{2E \cdot (1 + \chi^2) / [\rho \cdot (1 + \sqrt{1 + \chi^2})]}; \quad (9)$$

$$Z_1 = e^{-2\alpha H} (\alpha\xi_1 + k\lambda_1) \times \sqrt{\left(\frac{k\xi_1 - \alpha\lambda_1}{\alpha\xi_1 + k\lambda_1} \right)^2 + 1}; \quad (10)$$

$$\xi_1 = \frac{\lambda^2 - m_2^2\omega^4 + \xi^2}{(\lambda - m_2\omega^2)^2 + \xi^2}; \quad (11)$$

$$\lambda_1 = \frac{2\xi m_2\omega^2}{(\lambda - m_2\omega^2)^2 + \xi^2}. \quad (12)$$

$$\xi = F(kE + \alpha\eta\omega); \quad (13)$$

$$\lambda = F(\alpha E - k\eta\omega). \quad (14)$$

$$\lambda_2 = \sqrt{\lambda_1^2 + \xi_1^2}; \quad (15)$$

φ_1 и φ_2 – углы сдвига фаз;

$$\varphi_1 = \arctg \frac{k\xi_1 - \alpha\lambda_1}{\alpha\xi_1 + k\lambda_1}; \quad (16)$$

$$\varphi_2 = \arctg \frac{\lambda_1}{\xi_1}. \quad (17)$$

Таким образом, на основании решения волнового уравнения колебаний (1) получена закономерность (4), при помощи которой описывается поведение рассматриваемой динамической системы в зависимости от частоты и амплитуды возмущающих сил вибро-возбудителей колебаний, физико-механических свойств формуемой смеси, толщины формуемого слоя, массы вибрирующей рамы и массы пригрузочной плиты, жесткости амортизаторов. При $0 < z < H$ зависимость (4) описывает распространения волн деформаций в уплотняемой среде. При координате $z = 0$ зависимость (4) описывает закон движения нижнего слоя уплотняемой смеси, днища формы и вибрирующей рамы виброплощадки.

Подставляя зависимость (4) в выражение

$$\sigma(z, t) = E \frac{\partial \psi(z, t)}{\partial z} + \eta \frac{\partial^2 \psi(z, t)}{\partial z \partial t}, \quad (18)$$

можно определить напряжения, возникающие в уплотняемом слое бетонной смеси.

Выводы

В процессе проведения исследований было установлено, что существенное влияние на амплитуду колебаний подвижной рамы виброплощадки и амплитуду напряжений оказывают консистенция цементобетонной смеси, толщина уплотняемого слоя, его плотность и величина пригруза. С увеличением толщины уплотняемого слоя H и коэффициента относительной пластической деформации цементобетонной смеси амплитуда колебаний вибрационной рамы виброплощадки уменьшается, а амплитуда напряжений, возникающих в основании уплотняемого слоя, возрастает и тем интенсивнее, чем больше величина пригруза. Величина напряжений, возникающих на поверхности уплотняемого слоя, практически не зависит от коэффициента относительной пластической деформации цементобетонной смеси, незначительно зависит от толщины уплотняемого слоя и существенно зависит только от величины пригруза.

Литература

- Иткин А.Ф. Сравнение теоретических и экспериментальных данных исследований виброплощадок с вертикально направленными колебаниями / А.Ф. Иткин, А.Г. Маслов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету, вип. 1/2007 (42). Частина 2. – Кременчук, 2007. – с. 19 – 23.
- Маслов А.Г. Вибрационные машины для приготовления и уплотнения бетонных смесей / А.Г. Маслов, А.Ф. Иткин, Ю.С. Саленко. – Кременчук: ЧП Щербатых А.В., 2014. – 324 с.
- Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. - М. Машиностроение, 1981. Т.4. Вибрационные процессы и машины/ Под ред. Э.Э. Лавендела. 1981. - 509 с.
- Маслов А.Г. Теоретические основы вибрационного уплотнения цементобетонных смесей / А.Г. Маслов, А.Ф. Иткин // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2004. – Вип. 5/2004 (28). – с. 45 – 49.
- Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем / А.П. Филиппов. - М.: Машиностроение, 1970. – 736 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ СИСТЕМИ «БАРАБАН-СУМІШ» В РОБОЧОМУ РЕЖИМІ ПЕРЕМІШУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ФОРМИ БАРАБАНА

АНОТАЦІЯ. Наведено результати дослідження енергетичної складової процесу взаємодії барабана гравітаційного бетонозмішувача з оброблюваним середовищем з урахуванням форми барабана в робочому режимі перемішування. Запропонований коефіцієнт, який дозволяє оцінити ефективність конструктивного виконання барабана на етапі його проектування.

Ключові слова: гравітаційний бетонозмішувач, енергія перемішування, коефіцієнт форми барабана.

SUMMARY. The research results of the energy component of the interaction of gravitational concrete mixer drum with the work environment are concerned. The ratio that allows evaluating the effectiveness of the drum during its design are proposed.

Key words: drum concrete mixer, mixing energy, drum shape ratio.

Постановка проблеми. Змішування – це процес утворення однорідних систем з сипких та рідких компонентів. Складний механізм цього процесу визначається як фізико-механічними властивостями використаних матеріалів, правильним підбором складу бетону, точним дозуванням, порядком завантаження сировинних матеріалів у змішувач, так і конструкцією змішувача, режимом його роботи і тривалістю приготування суміші.

З часу своєї появи конструкція гравітаційних бетонозмішувачів постійно змінювалася і на сьогоднішній день всі відомі конструкції, які відносяться до класу змішувачів гравітаційного змішування, можуть бути розподілені на три типи [4]: перекидні, неперекидні реверсивні і неперекидні з розвантажувальним лотком. Практикою виробництва та використання гравітаційних бетонозмішувачів в Україні історично акцент був зроблений на перекидних змішувачах. Вони використовувалися в СРСР з часу своєї появи на початку XX століття, і завдяки високій продуктивності через великі об'єми барабана та малий час на перемішування практично витіснили неперекидні конструкції з вітчизняної практики. Разом з тим, параметри робочих органів, які призначаються при проектуванні машини для прийнятої конструктивної схеми, визначаються конструкцію робочих органів та конструктивно-технологічну характеристику гравітаційного бетонозмішувача в цілому, проте не враховують ступінь взаємодії барабана з оброблюваним середовищем. Особливо це стосується початкового етапу проектування та оцінки ескізної моделі барабана, які визначатимуть ефективність майбутньої машини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо [1, 2, 5], робочий процес, який відбувається в гравітаційному бетонозмішувачі, полягає в тому, що вихідні компоненти бетонної суміші, які знаходяться в обортовому змішувальному барабані, за рахунок сил тертя та адгезії, а також за допомогою внутрішніх змішувальних робочих органів, закріплених на стінках барабана, піднімаються в процесі його обертання на певну висоту, а потім падають за пара-

Внутрішня поверхня барабана і лопатевий апарат створюють осьові і радіальні потоки, які і забезпечують перемішування. Багатьма дослідниками наголошувалося на складності математичного описання процесів перемішування, які відбуваються в барабані гравітаційного змішувача, що є результатом багатовимірного характеру руху самого оброблюваного середовища [3]. І якщо для змішувачів примусового перемішування Корольовим К.М., Шараповим І.К. та Чемеричко Г.І. були запропоновані критерії ефективності перемішування, які дозволяють оцінити ефективність змішувального апарату, то для гравітаційних змішувачів дана задача залишається відкритою. Аналіз закордонних джерел [11] вказує на те, що найбільше даною проблемою переймаються науковці США, оскільки для них використання рухомих бетонних сумішей є найпоширенішим.

Поряд з цим, треба відзначити результати отримані харківською школою під керівництвом проф. Ємельянової І.А., але їх роботи все ж зсунилися в бік процесів примусового перемішування, а внесок гравітаційних сил враховується досить загальними закономірностями. Нemoжливість створення коректної математичної моделі в деяких випадках замінюється розробкою нових конструкцій, які покликані поліпшувати процес на макро- та мікрорівнях. Як наслідок, створені конструкції вібраційних барабанних апаратів [10] та додаткових внутрішніх змішувальних елементів [8, 9] суттєво знизили надійність системи, не вирішивши головного завдання – забезпечення якісного перемішування.

Мета дослідження: Виконати дослідження ефективності процесу перемішування шляхом оцінки енергетичної складової процесу взаємодії барабана гравітаційного бетонозмішувача з оброблюваним середовищем з урахуванням форми барабана. Розробити критерій оцінки, який дозволить оцінити ефективність конструктивного виконання барабана ще на етапі його ескізного проектування.

Виклад основного матеріалу. Серед рекомендованих і найбільш поширених методів визначення

¹ Назаренко І.І., д.т.н., професор.; Клименко М.О., к.т.н., доцент. Київський національний університет будівництва і архітектури.

енергетичних витрат змішувача є розрахунок потужності за статичними моментами

$$P = M_{пер} \cdot \omega = G_{сум} x_c \omega, \quad (1)$$

де $M_{пер}$ – статичний момент на провертання барабана із бетонною сумішшю; $G_{сум}$ – вага суміші в барабані; x_c – відстань від центру ваги до вертикальної осі барабана (рис. 1).

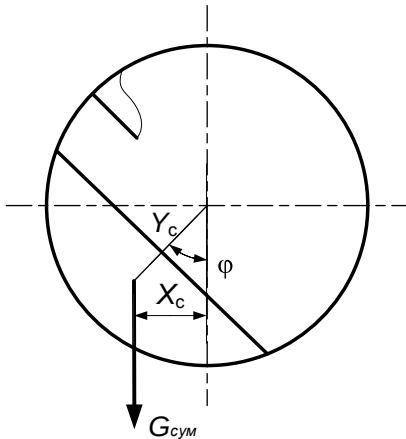


Рис. 1. Еквівалентна схема до визначення моменту на перемішування.

Значення x_c безпосередньо залежить від коефіцієнту тертя суміші, наявності лопатей і координат центру ваги суміші в вертикальній площині. Якщо перший параметр залежить тільки від властивостей суміші, то останні два – від конструкції змішувального барабана, причому останній безпосередньо залежить від його форми і технологічних показників, таких, як кут перемішування α та коефіцієнт завантаження барабана $K_{зав}$. Діючі методики розрахунку пропонують визначати центр ваги по осі ординат як

$$Y_c = (0,64 \dots 0,7) R = (0,32 \dots 0,35) D_i. \quad (2)$$

Проте аналіз існуючих конструкцій дозволив встановити, що в дійсності коефіцієнт при R рідко перевищує значення 0,6–0,61. Крім цього, не враховується нахил барабана змішувача, тобто приймається, що кут при перемішуванні дорівнює 0° . Практично, для більшості існуючих гравітаційних циклічних бетонозмішувачів, кут при перемішуванні становить $12-15^\circ$ і більше, що, за даними розрахунків, додатково зменшує вищезазначений коефіцієнт на 15-20%. Оскільки кут нахилу осі барабана під час завантаження змішувача звичайно більше або дорівнює куту нахилу в режимі перемішування, а густина суміші під час дозування компонентів і додавання води змінюється від $\rho_{сум.компл.}$ до $\rho_{сум.}$, то статичний момент на перемішування визначається як

$$M_{зм} = \sum_i G_{г.сум.i} \cdot x_{c_i} = g \sum_i (V_{г.сум.i} \rho_i Y_{c_i} \sin \phi_i), \quad (3)$$

де $G_{г.сум.i}$; $x_{c_i} = Y_{c_i} \cdot \sin \phi_i$ – поточні значення ваги та абсциси центру ваги (рис.2) окремих складових елементів барабана; $V_{г.сум.i}$; Y_{c_i} ; ρ_i ; ϕ_i – поточні значення об'єму готової суміші, її центру ваги по осі ординат, щільності і кута тертя для окремих складових елементів барабана.

Залежність $M_{зм}$ від коефіцієнта завантаження барабана $K_{зав}$ (рис. 2) має постійно зростаючий характер, як за рахунок зміни об'єму суміші і положення центру ваги, так і за рахунок зміни густини при зв'язуванні компонентів водою, а також кутів внутрішнього і зовнішнього тертя.

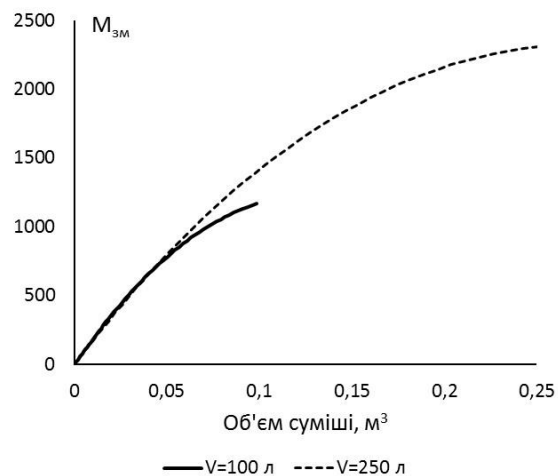


Рис. 2. Залежність моменту на перемішування від об'єму суміші в барабані.

В положенні перемішування при повному завантаженні

$$M_{зм} = A g \rho_{г.сум} V_{г.сум} \frac{D}{2} \sin \phi, \quad (4)$$

де A – коефіцієнт, що визначається формою і розмірами барабана та наявними лопатями.

Треба зазначити, що момент на перемішування буде зростати при переведенні барабана із положення змішування в положення розвантаження, досягаючи при цьому найбільшого значення. Однак, якщо барабан спроектовано таким чином, що в положенні змішування він заповнений сумішшю до завантажувального отвору, то максимум моменту на перемішування буде припадати на положення перемішування. При нахилі барабана під час розвантаження має місце різке зменшення моменту до мінімуму при повністю порожньому барабані. На рис. 3 побудована залежність кривої моменту на перемішування від кута нахилу змішувального барабана.

На рис. 3 зліва від точки А знаходиться частина кривої, пов'язаної з вивантаженням готової суміші.

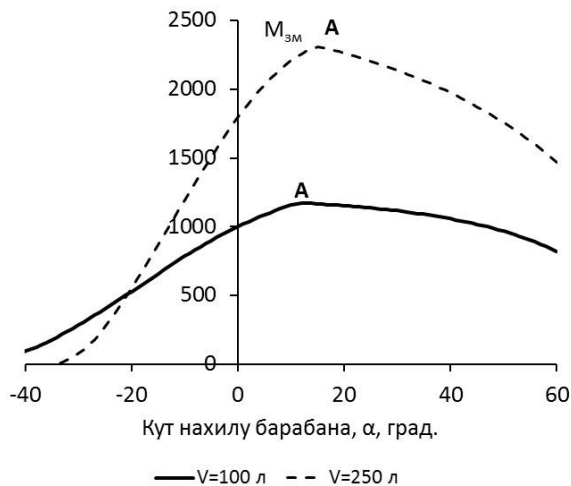


Рис. 3. Залежність моменту на перемішування від кута нахилу осі барабана.

Нахил барабана у зворотній бік до днища змішувача (праворуч від точки A на рис.3) також викликає зменшення моменту на перемішування і є пропорційним зміні положення центру ваги $Y_{цв}$ від кута α . Кривизна кривої визначається конструктивними особливостями барабана.

Дослідження впливу того або іншого параметра на коефіцієнт A в залежності (4) на процес перемішування може бути виконано тільки за умови суворого кількісного визначення характеристики параметрів. У цьому зв'язку певні труднощі виникають із одним з найважливіших параметрів бетонозмішувача – пошуком величини, за якою виконується оцінювання барабанів різних розмірів, а особливо різних конфігурацій барабанів в повздовжньому перерізі. Звичайно, що використання абсолютних значень ані поперечних, ані поздовжніх розмірів барабана не прийнятне. З точки зору математичного моделювання та теорії подібності цей параметр мав би бути безрозмірною величиною. Проте, просте співвідношення попереч-

них і поздовжніх розмірів барабана $\frac{D_{\max}}{L}$ в якості

такого показника не може бути використане, оскільки різні поєднання довжини конічних і циліндричних елементів у барабані, а тим більше сферичні елементи, без зміни його загальної довжини не відбивалися б цим співвідношенням, хоча і призводили б до реальної зміни форми барабана. Використаний в подальшому функціональний вираз для визначення співвідношення розмірів барабана - $f(D_i / l_i)$ може бути зручно розкрито введенням коефіцієнта, що враховує форму барабана, $K_{бар}$. Цей параметр повинен кількісно оцінити форму барабана з урахуванням співвідношення конічних, циліндричних, сферичних або будь-яких інших криволінійних елементів, які складають барабан у повздовжньому напрямку. В зв'язку із цим, у коефіцієнт, що враховує форму барабана, вводиться не абсолютне, не середнє, а середнь-

озведене значення діаметра, яке в загальному випадку може бути описане рівнянням

$$\bar{D}_{3\phi} = \frac{\frac{1}{2} \int_{x_1}^{x_2} F(x) dx}{L}, \quad (5)$$

де $F(x)$ - функція, яка описує профіль твірної поверхні барабана, x_1, x_2 - значення координати по осі абсцис для, відповідно, початку і кінця барабана в обраній системі координат; $L = x_2 - x_1$ - довжина барабана.

У випадку, коли профіль поверхні барабана заданий кількома поверхнями, що являють собою поверхні обертання навколо поздовжньої осі барабана, залежність для середньозведеного діаметра набуває виду

$$\bar{D}_{3\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_{i1}} \int_{x_{i1}}^{x_{i2}} F_i(x) dx}{\sum_{i=1}^n (x_{i2} - x_{i1})}, \quad (6)$$

де i - номер поверхні, яка утворює профіль барабана. Для барабанів, що складаються з поверхонь тіл обертання із прямолінійними твірними (такими, як конуси та циліндри) середньозведений діаметр запишеться таким чином

$$\bar{D}_{3\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{D_i + D_{i+1}}{2} \cdot l_i \right)}{\sum_{i=1}^n l_i}. \quad (7)$$

Як було зазначено вище, на сьогодні широко застосовуються криволінійні елементи. Найчастіше це стосується перехідної частини до днища (із цього погляду, ідеальною була б сферична поверхня переходу від циліндра до вертикальної площини днища або взагалі використання в якості донного елемента частини сфери) (рис.4).

У цьому випадку середньозведені діаметри визначаються за формулами:

- за наявності конічної, циліндричної та сферичної поверхні дна (рис. 4)

$$\bar{D}_{3\phi} = \frac{\frac{D_0 + D_{\max}}{2} l_1 + D_{\max} l_2 + 2 \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{R^2 - x^2} dx}{l_1 + l_2 + (x_2 - x_1)}, \quad (8)$$

- за наявності конічної, циліндричної та сферичної перехідної поверхні від циліндра до верти-

кального дна (рис. 5) коли центр сферичної поверхні не лежить на осі обертання барабана

$$\begin{aligned} \bar{D}_{3\phi} = & \frac{1}{l_1 + l_2 + (x_2 - x_1)} \times \\ & \times \left(\frac{D_0 + D_{\max}}{2} l_1 + D_{\max} l_2 + \right. \\ & \left. + 2 \int_{x_1}^{x_2} \left(b + \sqrt{R^2 - a^2 + 2ax - x^2} \right) dx \right), \end{aligned} \quad (9)$$

де a, b – координати по осі абсцис та ординат центру дугової поверхні обертання (рис. 5).

Більше того, останнім часом спостерігається тенденція до використання сферичних елементів також замість переднього конуса, а в деяких випадках замінюючи навіть і центральну циліндричну ділянку (рис. 6). Тоді, для середньозведеного діаметра матимемо

$$\begin{aligned} \bar{D}_{3\phi} = & \frac{1}{(x'_2 - x'_1) + l_2 + (x''_2 - x''_1)} \times \\ & \times \left[2 \int_{x'_1}^{x'_2} \left(b_1 + \sqrt{R_1^2 - a_1^2 + 2a_1x - x^2} \right) dx + \right. \\ & + D_{\max} l_2 + \\ & \left. + 2 \int_{x''_1}^{x''_2} \left(b_2 + \sqrt{R_2^2 - a_2^2 + 2a_2x - x^2} \right) dx \right], \end{aligned} \quad (10)$$

де a_1, b_1, a_2, b_2 , – координати по осі абсцис та ординат центрів дугових поверхонь обертання (рис. 6).

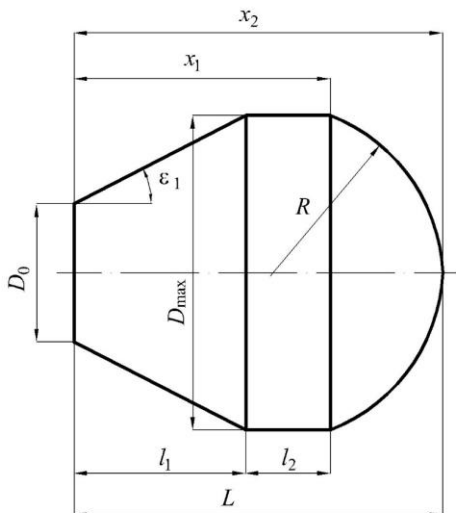


Рис. 4. Барабан з прямолінійними твірними та сферичними елементами поверхонь.

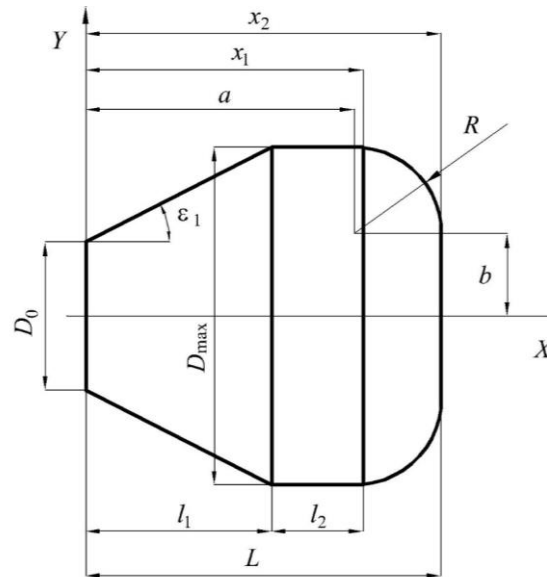


Рис. 5. Барабан з прямолінійними та криволінійними твірними елементами поверхонь.

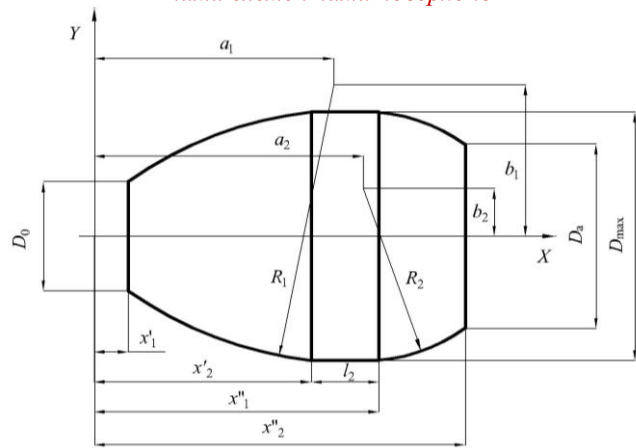


Рис. 6. Барабани з переважно криволінійними твірними елементами поверхонь.

Таким чином, безрозмірний коефіцієнт, що враховує форму барабана, матиме запис:

$$K_{бар} = \frac{\bar{D}_{3\phi}}{L}. \quad (11)$$

де L – повна довжина барабана, виміряна вздовж його поздовжньої осі.

Висновки

1. Виконане дослідження енергетичної ефективності процесу перемішування через оцінку взаємодії системи «барабан гравітаційного бетонозмішувача – бетонна суміш» з урахуванням форми барабана.
2. Розроблений коефіцієнт оцінки, який дозволяє оцінити ефективність конструктивного виконання барабана ще на етапі його попереднього ескізного проектування, що значно спрощує наступне проектування робочого органу гравітаційних бетонозмішувачів.

Література

1. Бауман В.А., др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов изделий и конструкций: Учебник для строительных вузов. / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов. – М.: Машиностроение, 1981. – 324с.
2. Назаренко І.І. Машины для виробництва будівельних матеріалів: Підручник. – К.: КНУБА, 1999. – 488 с.
3. Мартынов В.Д., Алешин Н.И., Морозов Б.П. Строительные машины и монтажное оборудование. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
4. Королев К.М. Интенсификация приготовления бетонной смеси. – М.: Стройиздат, 1976. – 145с.
5. Королев К.М. Механизация приготовления и укладки бетонной смеси. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
6. Емельянова И.А. Бетоносмеситель гравитационно-принудительного действия, работающий в каскадном режиме – машина высокой эффективности / И.А. Емельянова, А.И. Анищенко // Научно-производственный периодический журнал «Наука в центральной России», 2012. – № 1. – С. 76 – 81
7. Емельянова И.А., Анищенко А.И., Плужник А.Н. Уточненная модель движения частицы бетонной смеси с лопатки корпуса бетоносмесителя гравитационно-принудительного действия // Науковий вісник будівництва, вип. 62, Харків: ХДТУБА, 2011. – С.193–198
8. Пенчук В.А., Лукьянец В.Б., Вешневская В.Г. Эффективное направление модернизации гравитационных бетоносмесителей // Современные проблемы строительства. – Донецк: ДП «Донецкий Промстройинипроект», 2011. – с. 185-189.
9. Пенчук В.А. Совершенствование гравитационных смесителей на базе основных положений синергетики / В.А. Пенчук, В.Б. Лукьянец // Современные проблемы строительства– Донецк: ДП «Донецкий Промстройинипроект», 2010. – С. 238-242.
10. Серебrenиков А.А. и др. Интенсификация смешивания в гравитационном бетоносмесителе// Строительные и дорожные машины. - 2000. - №12. С. 34-35.
11. ISO 18650-2:2006 Building construction machinery and equipment -- Concrete mixers -- Part 2: Procedure for examination of mixing efficiency. – 2006. – 19p.

УДК 666.9

Голубничий А.В.¹

МІНЕРАЛОУТВОРЕННЯ ПРИ НАГРІВІ ГІДРАТОВАНИХ В'ЯЖУЧИХ З РІДКИМ СКЛОМ, ШЛАКАМИ МЕТАЛІЧНОГО МАРГАНЦЮ І КОЛЬОРОВИМИ

АНОТАЦІЯ. *Методом рентгенофазового аналізу визначено кристалічні фази, що синтезуються при нагріві гідратованих в'язучих з рідким склом, шлаками металічного марганцю і кольорових при температурах в діапазоні 373...1473 К.*

Ключеві слова: *шлак, залізовмісна речовина, рідке скло.*

SUMMARY. *The X-ray diffraction method crystalline phase established, which are synthesized by heating a hydrated liquid glass cementing, slag manganese and colored metal at temperatures in the range 373 ... 1473K*

Keywords: *slag, iron agents, liquid glass.*

Вступ. За останній час знайшли розповсюдження жаростійкі бетони на в'язучих з рідким склом і вторинними продуктами різних промислових виробництв. Технології їх отримання і властивостям присвячено значна кількість наукових робіт [1...2]. В той же час мінералоутворення при нагріві в'язучих з рідким склом, шлаками металічного марганцю і кольоровими, що вміщують двовалентне залізо не досліджувалось.

Мета роботи. Дослідити мінералоутворення при нагріві гідратованих в'язучих з рідким склом, шлаками металічного марганцю і кольоровими при температурах 373...1473 К.

Виклад основного матеріалу.

В'язучі склалися з дрібно мелених кольорових шлаків (питома поверхня – 300 м²/кг), дрібно меленого шлаку металічного марганцю (питома поверхня – 300 м²/кг), рідкого скла з густиною 1300 кг/м³ і силікатним модулем 2.8. Співвідношення мас шлаку металічного марганцю і будь якого із кольорових коливалась у межах 1:1...9:1. Концентрація оксиду двовалентного заліза у кольорових шлаках змінювалась у межах 11.00...34.00 мас.%. В'язучі були гідратовані на протязі 3 діб при T=293±5 К при відносній вологості 60...65 % і наступного 2-х добового висушування при T=378±5 К.

При нагріві гідратованих в'язучих з рідким склом, шлаком металічного марганцю, застосованими залізовмісними речовинами в інтервалі температур 378...473 К вміст у них γ – C₂S (d=0.383, 0.301, 0.274, 0.191, 0.175, 0.164 нм) зменшується; Mn₂S (d = 0.400, 0.367, 0.300, 0.288, 0.268, 0.246, 0.223 нм) – не змінюється; CSH (I) (d = 0.307, 0.280, 0.240, 0.183 нм) і NaCaSiO₃OH (d = 0.286, 0.274, 0.201, 0.159 нм) підвищується (рис. 1). Такі зміни вмісту останніх послаблюються при зростанні у залізовмісних речовинах концентрації FeO, особливо вище за 30 мас.%, і при зменшенні такої SiO₂, нижче за 40 мас.% при перерахунку їх складу на систему „FeO – CaO – SiO₂”.

При збільшенні температури нагріву гідратованих в'язучих з будь-якою із застосованих залізовмісних речовин до 573 К вміст у них γ – C₂S і Mn₂S, у порівнянні з такими після нагріву цих

в'язучих до T= 473 К не змінюються; CSH (I) і NaCaSiO₃OH – збільшується.

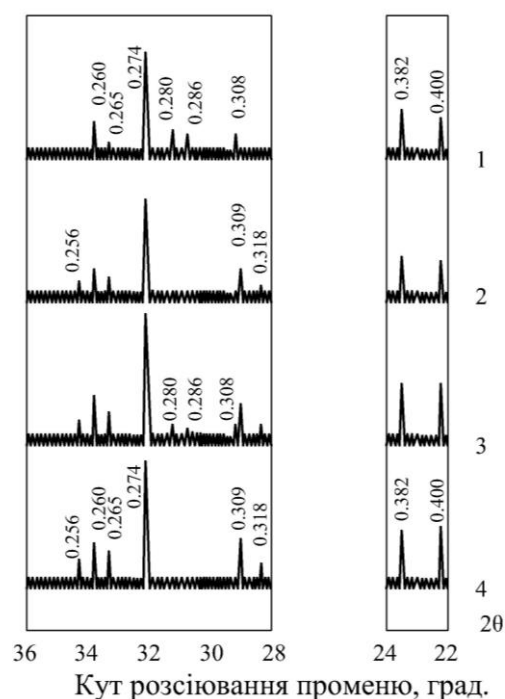


Рисунок 1. Рентгенограми гідратованих в'язучих з залізовмісними і металічного марганцю шлаками, рідким склом після нагріву до різних температур.

Склад вихідних в'язучих: співвідношення мас шлаків металічного марганцю і кольорових 1:1 (1, 2), 3:1 (3, 4); концентрація оксидів заліза у кольорових шлаках, мас. %: 15.85 (1, 3), FeO – 25.60 і Fe₂O₃ – 0.90 (2, 4); питома поверхня шлаків = 300 м²/кг; рідке скло з m=2.8, p=1300кг/м³, p/ш=0.31. Температури нагріву гідратованих в'язучих, К: 973(1), 1073(3), 1173(2), 1273(4)

Подібні зміни вмісту останніх спостерігаються менш виразно при зростанні у залізовмісних речовинах концентрації FeO або загальної оксидів заліза вище за 30 мас.% при перерахунку складу таких речовин на систему „FeO – CaO – SiO₂”. Теж саме характерне і при зменшенні у залізовмісних речовинах концентрації SiO₂, особливо нижче за 40 мас.% при

перерахунку складу таких речовин на цю систему оксидів. Такі зміни вмісту у гідратованих в'язучих CSH (I) і $\text{NaCaSiO}_3\text{OH}$ в температурному інтервалі 473...573 K пов'язані з перетворенням у ці кристалічні сполуки менш стійких рентгеноаморфних гідросилікатів кальцію і натрію.

При підвищенні температури нагріву цих гідратованих в'язучих з будь-якою із застосованих залізовмісних речовин до 873 K вміст у них $\gamma - \text{C}_2\text{S}$ і Mn_2S , у порівнянні з такими при $T=573$ K, не змінюється; CSH (I) і $\text{NaCaSiO}_3\text{OH}$ – зменшується.

При температурах нагріву цих гідратованих в'язучих у межах 378...873 K FeO у залізовмісних стеклах, склад яких наближується до геденбергіту, фаяліту, залізистих монтічеліту і акерманіту, $\text{F}'\text{S}$, а також цих кристалічних фазах стійкий. Цей оксид у стеклах і кристалічних фазах не взаємодіє із складовими шлаку металічного марганцю або рідкого скла. При термічній обробці такої інтенсивності у залізовмісних речовинах не спостерігається перетворення Fe^{2+} у Fe^{3+} і кристалізація залізовмісних стекл.

При підвищенні температури нагріву цих гідратованих в'язучих з будь-якою із застосованих залізовмісних речовин до 973 K вміст у них Mn_2S , у порівнянні з таким при $T=873$ K не змінюється; $\gamma - \text{C}_2\text{S}$, CSH (I), $\text{NaCaSiO}_3\text{OH}$ – зменшується; з'являються NC_2S_3 ($d = 0.336, 0.303, 0.289, 0.265, 0.225, 0.204, 0.189, 0.171, 0.161, 0.149$ нм), CS ($d = 0.342, 0.323, 0.309, 0.297, 0.223$ нм).

Крім цього після нагріву до цієї температури у гідратованих в'язучих з залізовмісними речовинами, модельні склади яких розташовуються у елементарному трикутнику „S – $\text{F}'\text{S}$ –

$\text{CF}'\text{S}_2$ ” виявлена наявність залізного акерманіту; трикутниках „ $\text{F}_2'\text{S} - \text{CF}'\text{S} - \text{C}_2\text{F}'\text{S}_2$ ”, „ $\text{F}_2'\text{S} - \text{C}_2\text{F}'\text{S}_2 - \text{CF}'\text{S}_2$ ” – залізного монтічеліту; трикутнику „ $\text{F}_2'\text{S} - \text{CF}'\text{S}_2 - \text{F}'\text{S}$ ” – залізистих монтічеліту і акерманіту.

Залишковий вміст у гідратованих в'язучих CSH (I) і $\text{NaCaSiO}_3\text{OH}$, після їх нагріву до 973 K, підвищуються при подібній зміні у залізовмісних речовинах концентрації SiO_2 . Це особливо виразно спостерігається при побільшенні такої вище за 40 мас.% при перерахунку складу залізовмісних речовин на систему „ $\text{FeO} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ ”.

При підвищенні температури нагріву цих гідратованих в'язучих з будь-якою із застосованих залізовмісних речовин до 1073 K вміст у них CSH (I), $\text{NaCaSiO}_3\text{OH}$ і $\gamma - \text{C}_2\text{S}$, у порівнянні з таким при $T=973$ K, зменшується; Mn_2S – не змінюється; NC_2S_3 , CS – підвищується. Крім цього при використанні залізовмісних речовин, модельні склади яких розташовуються у елементарних трикутниках „S – CS – $\text{CF}'\text{S}_2$ ” і „CS – $\text{C}_2\text{F}'\text{S}_2 - \text{CF}'\text{S}_2$ ” з'являються анортит і геденбергіт; трикутнику „ $\text{F}'\text{S} - \text{CF}'\text{S}_2 - \text{S}$ ” підвищується вміст залізного акерманіту, з'являються анортит і геденбергіт; трикутниках „ $\text{F}_2'\text{S} - \text{CF}'\text{S} - \text{C}_2\text{F}'\text{S}_2$ ” і „ $\text{F}_2'\text{S} - \text{C}_2\text{F}'\text{S}_2 - \text{CF}'\text{S}_2$ ” – підвищується вміст залізного монтічеліту, з'являються фаяліт, залізистий акерманіт, геленіт; трикутнику „ $\text{F}_2'\text{S} - \text{CF}'\text{S}_2 - \text{F}'\text{S}$ ” – підвищується вміст залізистих монтічеліту і акер-

маніту, з'являються фаяліт, анортит, геденбергіт (рис. 1).

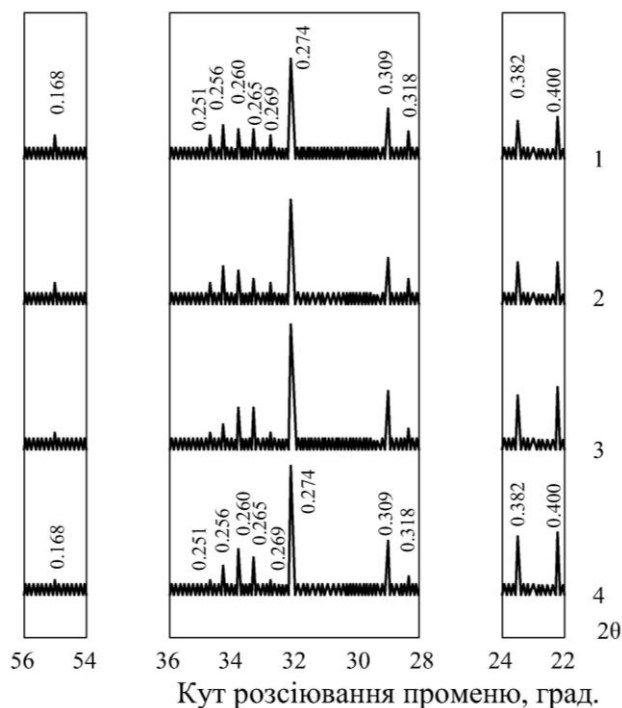


Рисунок 2. Рентгенограми гідратованих в'язучих з залізовмісними і металічного марганцю шлаками, рідким склом після нагріву до визначеної температури.

Склад вихідних в'язучих: співвідношення мас шлаку металічного марганцю і кольорового = 1:1 (1, 2), 3:1 (3, 4); концентрація оксидів заліза у кольорових шлаках, мас. %: 15.85 (1, 3), $\text{FeO} - 25.60$ і $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0.90$ (2, 4); питома поверхня шлаків = $300 \text{ м}^2/\text{кг}$; рідке скло з $m=2.8$, $\rho=1300 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\rho/\eta=0.31$. В'язучі гідратовані на протязі 3-ох діб при $T=293\pm 5 \text{ K}$ і відносній вологості 60...65% з наступним 2-ох добовим висушуванням при $T=378\pm 5 \text{ K}$; Температури нагріву гідратованих в'язучих 1373 K.

При подальшому підвищенні температури нагріву цих гідратованих в'язучих з будь-якою із застосованих залізовмісних речовин в інтервалі 1073...1173 K повністю зникають CSH (I) і $\text{NaCaSiO}_3\text{OH}$. При $T=1273$ K вміст NC_2S_3 і CS, у порівнянні з таким при 1073 K, підвищується; Mn_2S – не змінюється; $\gamma - \text{C}_2\text{S}$ – зменшується.

Крім цього при використанні залізовмісних речовин, модельні склади яких розташовуються у елементарних трикутниках „S – CS – $\text{CF}'\text{S}_2$ ” і „CS – $\text{C}_2\text{F}'\text{S}_2 - \text{CF}'\text{S}_2$ ” у каменях цих в'язучих збільшується вміст анортиту і геденбергіту; трикутнику „ $\text{F}'\text{S} - \text{CF}'\text{S}_2 - \text{S}$ ” – залізного акерманіту, анортиту і геденбергіту; трикутниках „ $\text{F}_2'\text{S} - \text{CF}'\text{S} - \text{C}_2\text{F}'\text{S}_2$ ” і „ $\text{F}_2'\text{S} - \text{C}_2\text{F}'\text{S}_2 - \text{CF}'\text{S}_2$ ” – залізистих монтічеліту і акерманіту, фаяліту, геленіту; трикутнику „ $\text{F}_2'\text{S} - \text{CF}'\text{S}_2 - \text{F}'\text{S}$ ” – залізистих монтічеліту і акерманіту, фаяліту, анортиту, геденбергіту (рис. 1).

При температурах нагріву цих гідратованих в'язучих у межах 873...973 K FeO залізовмісні стекла і кристалічні фази з FeO починають взаємодіяти з

компонентами шлаку металічного марганцю і рідкого скла шляхом твердо-фазових реакцій. Кількість новоутворень, які синтезуються при цьому збільшується відносно суттєвіше при підвищенні питомої поверхні твердих компонентів в'яжучих від 250 до 300 м²/кг, ніж від 300 до 350 м²/кг і від 300 до 350 м²/кг, ніж від 350 до 400 м²/кг. Теж саме характерне і зміні співвідношення мас шлаку металічного марганцю і будь якої з застосованих залізовмісних речовин від 1:1 до 3:1, ніж від 3:1 до 9:1.

При температурах нагріву цих в'яжучих вище за 973 К починається кристалізація стекл залізовмісних речовин. Цей процес посилюється при подальшому зростанні температури нагріву каменів цих в'яжучих. При цьому частина з цих кристалічних фаз взаємодіє з компонентами шлаку металічного марганцю і рідкого скла шляхом твердо-фазових реакцій.

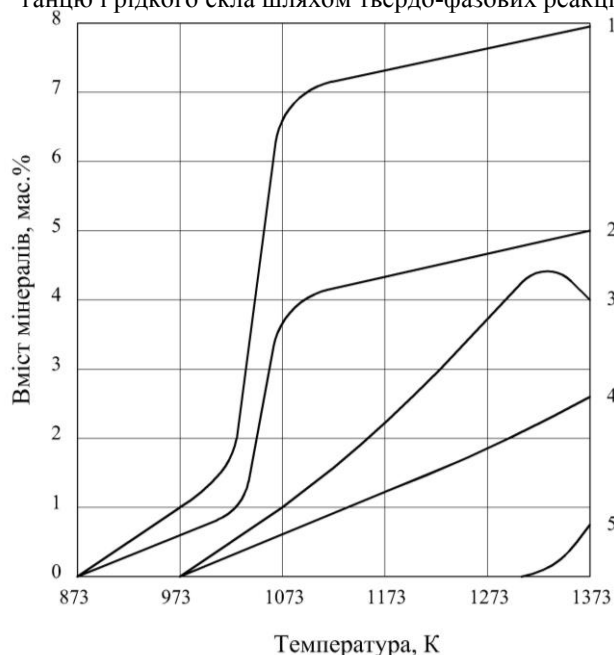


Рисунок 3. Залежність мінерального складу каменю гідратованого в'яжучого від температури його нагріву.

Склад вихідного в'яжучого: співвідношення мас шлаку металічного марганцю і кольорового (концентрація FeO – 21.95 мас.%) = 3:1, питома поверхня шлаків – 300 м²/кг, рідке скло з $m=2.8$ і $\rho = 1300$ кг/м³, $p/\omega=0.31$

1 – CS; 2 – NC₂S₃; 3 – CF'S₂; 4 – CAS₂; 5 – Fe₂O₃.

При температурах нагріву цих гідратованих в'яжучих у межах 1173...1273 К взаємодія окремих складових рідкого скла, шлаку металічного марганцю і залізовмісних речовин починає проходити у присутності рідкої фази, яка виникає за рахунок утворення евтектик між ними. Вміст CS і NC₂S₃ у каменях цих в'яжучих, після їх нагріву до температур у межах

973...1273 К, збільшується при аналогічній зміні у залізовмісних речовинах концентрації SiO₂ і у зворотному напрямку – такої FeO і Fe₂O₃. Це особливо виразно спостерігається при збільшенні у них концентрації SiO₂ вище за 40 мас.% і поменшанні такої FeO або разом і Fe₂O₃ нижче за 30 мас.% при перерахунку складу залізовмісних речовин на систему „FeO – CaO – SiO₂”.

При нагріві цих гідратованих в'яжучих з застосованими залізовмісними речовинами в інтервалі температур 873...1273 К у них не виявлено появи нових, крім існуючих у вихідних кольорових шлаках або штучних залізовмісних стеклах, сполук з тривалентним залізом.

При подальшому підвищенні температури нагріву цих гідратованих в'яжучих з будь-якою із застосованих залізовмісних речовин до 1373 К вміст у них CS і NC₂S₃ змінюється подібно, γ – C₂S і Mn₂S – зменшується; з'являється марганцева шпінель – гаусманіт (Mn₃O₄) ($d = 0.285, 0.283, 0.245, 0.212, 0.177, 0.172$ нм). Крім цього у в'яжучих з застосованими кольоровими шлаками і штучними залізовмісними стеклами, модельні склади яких розташовуються у елементарних трикутниках „S – CS – CF'S₂” і „CS – C₂F'S₂ – CF'S₂” фіксується поява, а таких, модельні склади яких розташовуються у елементарних трикутниках „F₂'S – CF'S – C₂F'S₂”, „F₂'S – C₂F'S₂ – CF'S₂”, „F₂'S – CF'S₂ – F'S”, „F'S – CF'S – S” – збільшення вмісту гематиту ($d = 0.269, 0.251, 0.168, 0.148$ нм). Це свідчить про початок перетворення у цих залізовмісних речовинах Fe²⁺ у Fe³⁺ (рис. 3).

Кількість оксидів тривалентного заліза, які синтезуються в інтервалі температур 1273...1373 К, додатково до вже існуючих у вихідних залізовмісних речовинах, залежить від загальної концентрації у них оксидів заліза. Так при зростанні такої від 0 до 10...12 мас.% вона змінюється аналогічно. Подальші її подібні зміни призводять до протилежних наслідків.

При збільшенні температури нагріву цих гідратованих в'яжучих від 1273 до 1373 К у них змінюється аналогічно вміст: анортиту і геденбергіту – при використанні залізовмісних речовин, модельні склади яких розташовуються у елементарних трикутниках „S – CS – CF'S₂” і „CS – C₂F'S₂ – CF'S₂”; залістого акерманіту, анортиту і геденбергіту – „F'S – CF'S₂ – S”; залістистих монтічеліту і акерманіту, фаяліту, геленіту – „F₂'S – CF'S – C₂F'S₂”, „F₂'S – C₂F'S₂ – CF'S₂”; залістистих монтічеліту і акерманіту, фаяліту, анортиту, геденбергіту – „F₂'S – C₂F'S₂ – F'S” (рис. 3).

Прискоренню взаємодії компонентів в'яжучих при їх нагріві у цьому інтервалі температур сприяє збільшення вмісту рідкої фази, яка утворюється за рахунок евтектик, а також розплавлення окремих складових залізовмісних речовин і силікатів натрію.

Висновки

При температурах першого нагріву гідратованих в'яжучих з рідким склом, шлаками металічного марганцю і кольоровими вищих за 573К вміст у них CSH (I) і NaCaSiO₃OH зменшується; у межах 873...973 К, при використанні у в'яжучих будь якого із застосованих кольорових шлаків, починають синтезуватися CS і NC₂S₃, а таких – модельні склади яких розташовуються у елементарному трикутнику „F'S – CF'S₂ – S” крім

цього – залізистий акерманіт; у трикутниках „F₂'S – CF'S – C₂F'S₂”, „F₂'S – C₂F'S₂ – CF'S₂” і „F₂'S – CF'S₂ – F'S” – залізисті монтічеліт і акерманіт; у межах: 973...1073 K – починається кристалізація стекол застосованих залізовмісних речовин; 1273...1373 K – починається розклад сполук з оксидом двовалентного заліза і синтез оксидів тривалентного заліза. Вміст CS і NC₂S₃ у продуктах реакції взаємодії компонентів цих в'язучих, після їх першого нагріву, суттєво збільшується при зростанні у застосованих залізовмісних речовинах концентрації SiO₂ вище за 40 мас.% і зворотніх – такої оксидів заліза нижче за 30 мас.% при перерахунку їх складу на систему „FeO–CaO–SiO₂”.

Література

1. Кривенко П.В., Ковальчук Г.Ю. Жаростойкий газобетон на основе щелочного алюмосиликатного связующего. Строит. материалы. -2001.-№7.-С. 26-28.
2. Тотурбиев А.Б. Термомеханические свойства жаростойкого бетона./ Бетон и железобетон. - 2011.-№1.-С.6-8.

УДК 621.929

Мартинцев В.С.¹

ВПЛИВ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ НА РОБОЧІ ОРГАНИ ЗМІШУВАЧІВ

АННОТАЦІЯ. Стаття присвячена впливу гідродинамічної кавітації на робочі органи змішувачів, а також заходи запобігання її негативного впливу.

Ключові слова: гідродинамічна кавітація, ерозія, кавітуюча крильчатка, робочий орган, апарат кавітаційного типу.

ANNOTATIONS. The article is devoted to the influence of hydrodynamic cavitation on the members of mixers and measures to prevent its negative impact.

Keywords: hydrodynamic cavitation, erosion, cavitating impeller, member, cavitation type device.

Актуальність роботи. Кавітація виявила себе перш за все в техніці як шкідливе явище. Значні руйнування робочих органів внаслідок кавітаційної ерозії значно обмежують застосування кавітації і обумовлюють розробку нових шляхів вирішення проблеми.

Постановка проблеми. Кавітація — явище розриву краплинної рідини під дією розтягувальних напруг, що виникають при створенні розрідження в обмеженій області рідини, у результаті якого утворюються порожнечі — каверни або кавітаційні пухирці, які заповнені парами рідини і розчиненими в ній газами. [3]

Гідродинамічна кавітація може виникати в потоці рідини, що має змінне поле тиску, а також поблизу і на поверхні тіл різної форми — у місцях найбільшого розрідження. Змінне поле тиску може створюватися різним образом: у результаті зміни швидкості потоку (у соплах лавалю) під впливом зміни форми тіла (виступи), внаслідок механічних впливів (пульсації потоку, вібрації тіл).

Кавітаційні апарати (КА), засновані на явищі гідродинамічної кавітації, являють собою ефективне змішувальне, активуюче, диспергуюче і гомогенізуюче устаткування нового покоління, здатне значно інтенсифікувати, прискорювати технологічні процеси в рідких середовищах, значно знижуючи при цьому втрати енергії і ресурсів.

КА мають наступні переваги: підвищення продуктивності, виробничої потужності за рахунок високої пропускної здатності, підвищення якості про-

дуктів, завдяки високій дисперсності часток, істотного скорочення часу розшарування або, навпаки, підвищення стійкості роздягнула фаз, зниження питомих витрат енергії на обробку за рахунок локальної концентрації енергії в потоці, збільшення швидкості протікання і здійснення реакцій за рахунок збільшення міжфазних поверхонь, істотна економія емульгаційних, стабілізаційних і компаундуючих добавок, тривалий термін служби через простоту, надійності конструкції і відсутності обертових частин, мінімум виробничих площ і універсальність застосування. [3]

Глобально існує два механізми, які мають руйнівний вплив на тіла в зоні розвиненої кавітації: механізм утворення кумулятивної струї по Корнфелду-Суворову внаслідок несиметричного схлопування кавітаційної мікробульбашки поблизу стінки або обтічної поверхні, яка зумовлює кавітаційну ерозію; механізм дії сферичних ударних хвиль, які виникають при симетричному схлопуванні бульбашок в «безмежній» рідині, за відсутності в рідині достатньо великих по розміру твердих домішок.

Як правило, ефекти, пов'язані з кавітацією, вкрай небажані в техніці (руйнування робочих органів насосів, гідротурбін, корабельних гвинтів; вібрація обладнання; зношення трубопроводів і гідроапаратури і багатьох іншого).

Основною проблемою в кавітації є ерозія. Високі швидкозмінні тиски і теплові ударні хвилі спричиняють в матеріалі поблизу бульбашки, що сти-

¹ Мартинцев В.С., аспірант КНУБА.

скується руйнування, причиною яких є втомні процеси.

Кавітаційна бульбашка, рухаючись з потоком рідини в область з вищим тиском, дезінтегрує, створюючи ударну хвилю (імпульс адекватний гідравлічному удару). Це призводить до кавітаційної корозії — руйнування поверхні металу, спричинене одночасною дією ударних тисків у рідині (тріскання бульбашок, каверн) і корозії або кавітаційного зношування як різновиду механічного зношування.

Більшість матеріалів, які підлягають дії кавітації, мають початковий (інкубаційний) період, під час якого ерозія відсутня (рис.1. він позначений літерою А). За інкубаційним йде період швидкого зростання ерозійного пошкодження (Б), а потім період відносно стабільного стану (В), коли швидкість ерозії майже постійна. Нарешті, коли поверхня вже сильно роз'їдена і вкрита раковинами, швидкість ерозії зменшується (Г).

Кавітація викликає також вібрацію, зменшення к.к.д. і, таким чином, зменшення ефективності роботи насосів, турбін тощо. Кавітація в насосах відбувається при падінні тиску на вході в насос. В лопатевих насосах кавітація супроводжується зменшенням подачі, напору, потужності і к.к.д. внаслідок того, що частина порожнини робочого колеса заповнюється паром.

Ерозія різних матеріалів визначається не тільки їхніми властивостями, але також загальним числом схлопуючих бульбашок і розподіленням утворених при цьому імпульсів тиску по амплітуді.

Результати лабораторних випробувань (табл. 1) показують, що найбільш стійким до кавітаційної ерозії матеріалом є алюмінієва бронза. Високим опором ерозії володіють нержавіючі сталі, кращою із них вважається мартенситна сталь. Також гарним опором ерозії і агресивним середовищем характеризуються нікелеві сплави, наприклад монель-метал [1].

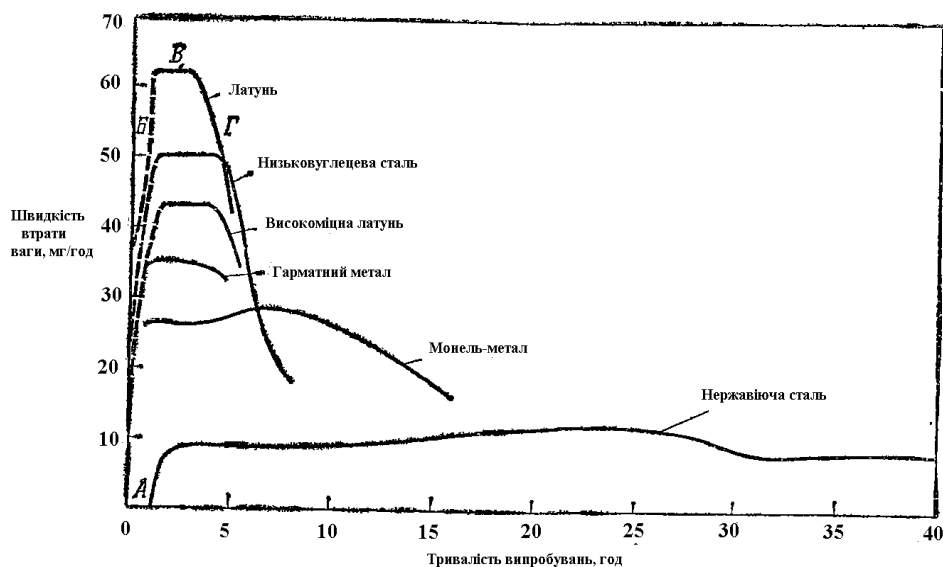


Рисунок 1. Швидкість ерозії для різних матеріалів.

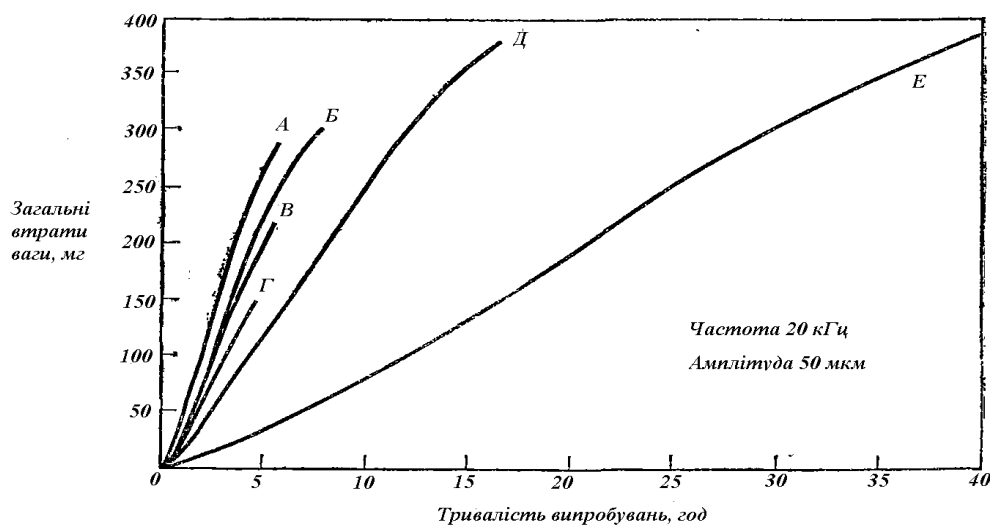


Рисунок 2. Результати ерозійних випробувань різних матеріалів.

Найкращим методом запобігання шкідливих наслідків кавітації для робочих органів змішувачів вважається зміна їх конструкції таким чином, щоб запобігти руйнуванню порожнин біля їх поверхні. Це досягається завдяки заміні звичайної крильчатки на

суперкавітаційну крильчатку з лопатями клиноподібного профілю і гострою передньою кромкою.

Завдяки гострій передній кромці каверна утворюється по всій стороні розрідження лопаті (рис 4). Замикання каверни проходить за нею, і в результаті ерозія останньої виключається [1].

Таблиця 1

Ерозійні і міцнісні характеристики металів

Матеріал	Модуль Юнга, кг/см ²	Міцність на розрив, кг/см ²	Відносне подовження, %	Твердість HV	Швидкість ерозії, мм ³ /год
Низьковуглецева сталь	$2,11 \cdot 10^6$	5 970	16	200	5,5
Нержавіюча сталь	$2,12 \cdot 10^6$	7 950	26	253	1,3
»	$2,12 \cdot 10^6$	11 000	17	321	1,1
»	$2,02 \cdot 10^6$	6 600	66	183	1,7
»	$2,02 \cdot 10^6$	6 200	59	228	1,6
»	$2,11 \cdot 10^6$	6 900	26	228	1,7
»	$2,11 \cdot 10^6$	12 200	1	439	0,5
»	$2,08 \cdot 10^6$	5 750	38	197	1,0
»	$2,08 \cdot 10^6$	5 650	48	176	1,3
»	$2,02 \cdot 10^6$	7 600	1	293	1,8
Високоміцна латунь	$0,915 \cdot 10^6$	4 020	17	120	4,7
Гарматний метал	$0,88 \cdot 10^6$	2 900	22	96	4,9
Алюмінієва бронза	$1,2 \cdot 10^6$	4 730	12	155	0,8
»	$1,34 \cdot 10^6$	6 600	6	211	0,6
Бронза Новостон	$1,24 \cdot 10^6$	7 150	21	203	1,5
Монель К-500	$1,66 \cdot 10^6$	8 400	19	289	2,8
Монель К-500 (старіюча)	$1,46 \cdot 10^6$	11 300	13	396	1,2
Титан	$1,18 \cdot 10^6$	10 200	20	332	1,1
Титан	$1,18 \cdot 10^6$	13 200	19	425	0,8
Нікель	$1,24 \cdot 10^6$	4 870	35	152	4,4
Залізо	$1,72 \cdot 10^6$	10 200	—	345	1,3

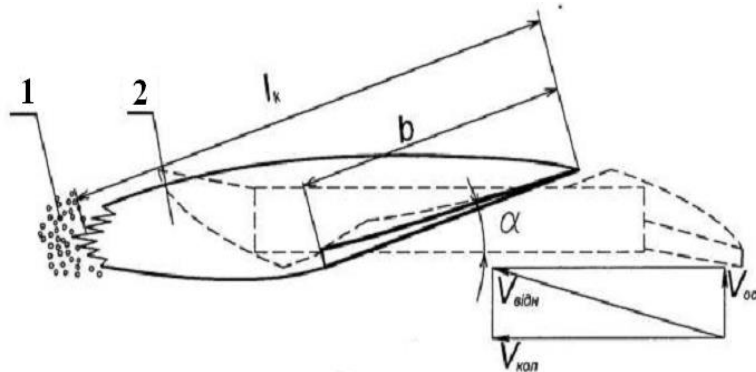
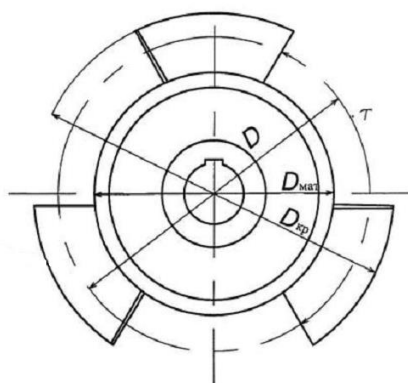


Рисунок 3. Кавітуюча крильчатка.

Рисунок 4. Схема течії суспензії навколо лопатей кавітуючої крильчатки:
1 – поле паро-газових кавітаційних мікробульбашок; 2 – коливні суперкаверни.

Для погано обтічних тіл, які мають гострі кромки, формування струмінного виду кавітації відбувається дуже швидко. Наявність кавітації несприятливо позначається на роботі гідравлічних машин, турбін, насосів, суднових гребних гвинтів і змушує вживати заходів до уникнення кавітації. Якщо це виявляється неможливим, то в деяких випадках корисно посилити розвиток кавітації, створити так званий режим "суперкавітації", що відрізняється струменевим характером обтікання і, застосувавши спеціальне профі-

лювання лопатей, забезпечити сприятливі умови роботи механізмів. Замикання кавітаційних бульбашок поблизу поверхні обтічного тіла часто призводить до руйнування поверхні, так званої кавітаційної ерозії. Щоб уникнути захоплення кавітаційних бульбашок, треба подати в область зниженого тиску який-небудь газ, наприклад повітря.

Висновки

1. Розглянуто вплив гідродинамічної кавітації на робочі органи змішувачів.
2. Виявлено, що одним із напрямків запобігання шкідливого впливу ерозії на робочі органи змішувачів є їх конструктивна зміна для протидії руйнуванню порожнин кавітації біля їх поверхні.

Література

1. Пирсол И. Кавитация. Пер. з англ. Ю.Ф. Журавлева, «Мир», 1975. – 95 с.
2. Назаренко І.І. Машини для виробництва будівельних матеріалів: Підручник. – К.: КНУБА, 1999. – 488 с.
3. Федоткин, И.М. Использование кавитации в технологических процессах / И.М. Федоткин, А.Ф. Немчин. - К. : Вища шк., 1984. - 68 с.
4. Патент 83158 Україна, В28С5/16 Пристрій для одержання активованої цементно-водної суспензії / Черневич І.М., Опубл. 10.06.2008 Бюл. №11.
5. Ресурси мережі Internet.

УДК 621.928.23

Мацюк Б. В.¹

ОЦІНКА КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВІБРАЦІЙНОГО ГРОХОТА

АНОТАЦІЯ. Виконано аналіз конструкцій сит вібраційного грохота із різного матеріалу та формою отворів. Визначені напрямки розвитку їх конструкцій.

Ключові слова: сито, грохот, просіювальна поверхня.

АННОТАЦИЯ. Выполнен анализ конструкций сит вибрационного грохота с разного материала и формой отверстий. Определены направления развития их конструкций.

Ключевые слова: сито, грохот, отверстие, просеивальная поверхность.

ANNOTATION . The research of structures vibrating screen sieves of different material and shape of the holes. Directions of their designs.

Keywords: screen, sieve, hole, sowing surface.

Постановка проблеми. У сучасному будівництві широко застосовують пристрої для механічного розділення (сортуння) сипких матеріалів за крупністю частинок шляхом просівання їх через просіювальну поверхню (решітку, сито) з заданою шириною щілини або отвору. В них застосовують різні сита за формою, розміром і матеріалом з якого вони виготовлені. Враховуючи значний валив конструкції сита на ефективність робочого процесу в роботі здійснено оцінка існуючих конструкцій сит і обґрунтування їх вибору.

Мета роботи. Оцінка конструктивних рішень та визначення напрямків створення сит із високоєфективними показниками продуктивності та мінімальною матеріалоємністю.

Методика та результати досліджень.

Методикою досліджень передбачено проаналізувати існуючі конструкції робочих органів грохотів та запропонувати раціональну їх конструкцію.

Виклад основного матеріалу. Довгий час сита робилися із металевих прутків (Рис. 1,а-в).

Решета виготовлялися із штампованих металевих листів із отворів різної форми [1].

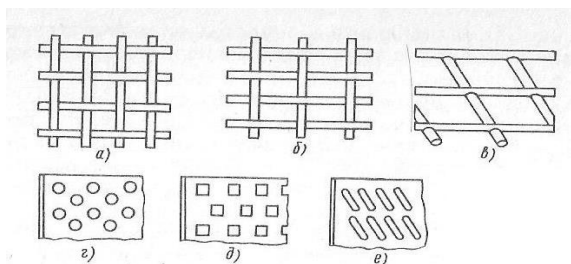


Рисунок 1. Схема сит (а-в), решета (г-е).

Сам розрахунок сит вібраційного грохота базується на емпіричних залежностях.

Розрахунок ширини сита:

$$B_p = \sqrt{\frac{G}{K_o \cdot q \cdot \rho_n \cdot (L/B)}} \quad (1)$$

де, $K_o = (1-E)/0.075$ – коефіцієнт точності просіювання;

q - нормативна питома продуктивності;

ρ_n - насипна щільність;

G - масова продуктивність.

Також існують сита для грохотів виготовлені з поліуретану, які знайшли широке застосування в галузях, де вони використовуються. Завдяки властивостям поліуретану сита грохотів мають ряд переваг по відношенню до сит з гуми і металу:

- Стійкість до стирання і зносу;
- Знижений шумовий фон;
- Висока якість просіюють матеріалу;
- Велика швидкість просіювання;
- Відсутність налипання;

- Складальна (модульна) конструкція сита грохота дозволяє зробити заміну зношеного модуля, без заміни всієї карти сита. Розміри і кількість ситових модулів залежать від грохота. Сита для грохота бувають з різними типами і розмірами отворів:

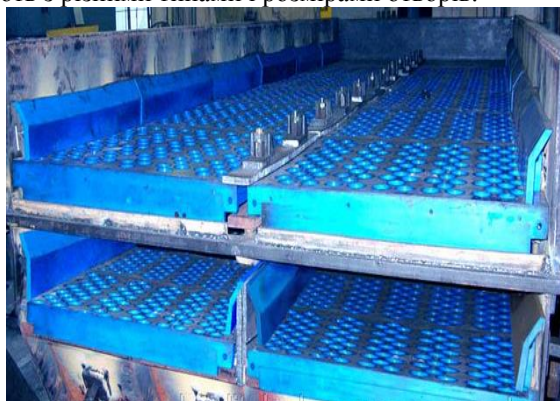


Рисунок 2. Сита круглого перетину розміром від 5 до 80 мм.

- щілиновидні з шириною щілини від 2,0 мм до 100 мм
- трикутного і овального перерізу;

Вище зазначені сита призначені для використання в різних грохотах для просіювання та класифікації сухих мас і суспензій у воді (пісок, вапняк, руда, шлаки, вугілля, кокс і т.д.) В даний час такі сита використовують для грохотів легкого типу (ГЛ32, ГЛ42), середнього типу (ГЛ 52), важкого типу (ГТ51, ГТ52, ГТ61А). У грохотах можуть використовуватися поліуретанові панелі Trellex, T-Flex PU і

Trellex T-Cord PU [4] виготовлені з особливо зносостійкого поліуретану і випускаються різних розмірів і класів твердості для різних умов використання. Їх можна встановлювати на будь які вібраційні грохоти таким же чином, як і звичайні гумові панелі, не вимагається ніяких модифікацій несучої рами. Отвори виготовляються методом точного лиття, що забезпечує дотримання розмірів.

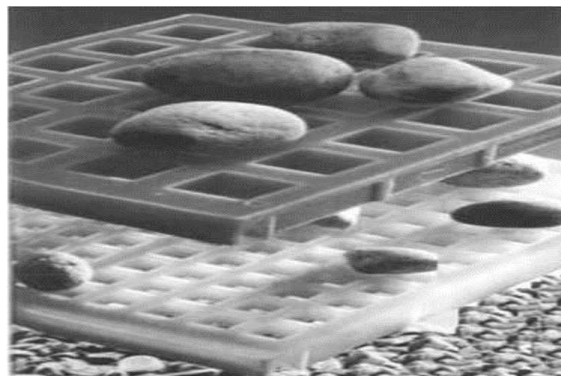


Рисунок 3. Сито квадратного перетину з розміром осередків від 2 до 100 мм.



Рисунок 4. Сита квадратного перетину.

Панелі використовуються в основному для тонкого просіювання Trellex T-cord PU (Рис.5). Дані панелі натягуються також як і проволочна сітка, оскільки мають армування зі сталевих тросів і практично не розтягуються.

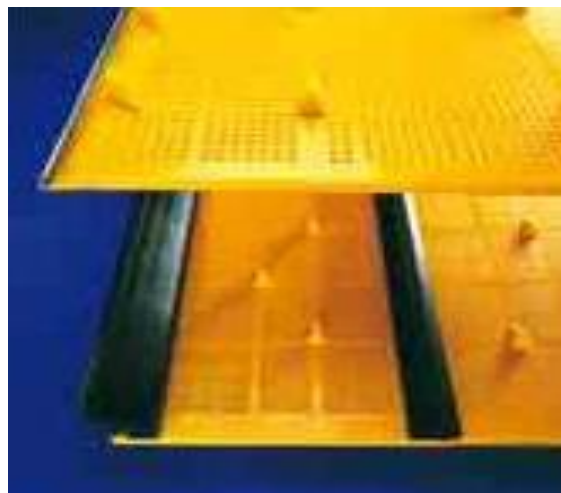


Рисунок 5. Сита Trellex T-Cord PU і Trellex T-Flex Pu. Сита для грохотів з поліуретану - це:

- Точне сортування за рахунок високої точності осередків сита.

- Видача граничної фракції за рахунок еластичних перемичок між перфораціями і конічної форми осередків сита.

- Висока зносостійкість і тривала працездатність внаслідок особливих властивостей поліуретану.

- Придушення шуму за рахунок звукопоглинальних властивостей поліуретану.

- Підвищення швидкості проходження матеріалу у зв'язку з рівною верхньою поверхнею.

- Більш низькі питомі та експлуатаційні витрати за рахунок тривалого періоду експлуатації (в 10-20 разів довше в порівнянні з металевими) і швидкої заміни сегментів.

- Висока ремонтпридатність (у разі пошкодження сита, заміну підлягає сегмент, а не все сито відразу)

Поліуретанові сита виготовляються у вигляді модулів з набору сегментів:

"З квадратними отворами (для попереднього грохочення, класифікації, повторної класифікації, контрольного просівання);

"Як панелі з вбудованою сталеву арматурою."

Конструктивно сита модульного виконання являють собою набір ситових карт з набором просівальних модулів. Ситові карти виготовляються з поліуретану по ширині короба грохота. Модулі складаються з поліуретану, високостійкого до зносу. Вбудована сталева арматура гарантує, що форма залишається незмінною. Низька норма допустимого відхилення отворів сита гарантує точний розмір готового продукту. Поліуретан може використовуватися з температурою вихідного продукту до 80°С.

Кріплення ситових модулів здійснюється за допомогою планок, клинів або іншим способом. Довгий термін служби, легкість у монтажі і змінність зношених ситових модулів вказує, що застосування сита грохота з поліуретану це правильний вибір.

У грохоті можна використати штамповані сита (Рис.6) просівальна поверхня з каліброваними отворами.

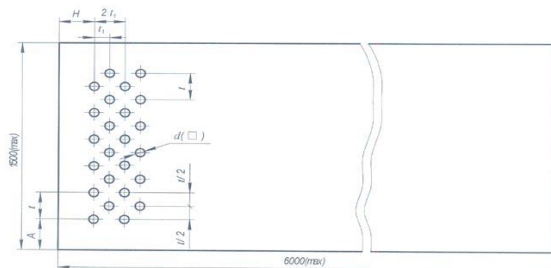


Рисунок 6. Штамповане сито

Використовуються штамповані сита або перфоровані сита в обладнанні призначеному для поділу на фракції гірських порід, інертних будівельних матеріалів, а також зневоднення різних матеріалів (збагаченого вугілля, промитих руд) в грохотах. Продуктивність такого обладнання залежить від площі сита, можуть бути призначені для вирішення специфічних завдань (мала крупність поділу (менше 2 мм).

У грохотах застосовуються також гумові сита виконані у вигляді двохкомпонентної конструкції, що складається з більш жорсткої основи і верхнього більш еластичного покриття, яке виконує основну функцію роботи на зношування при проходженні по ньому матеріалу, що сортується [3].

Гумові сита виготовляються з різних марок сумішей, що дозволяє варіювати їх фізико-механічні показники в широких межах, що необхідно для якісного розсіювання самого різного матеріалу. Для отримання необхідних технологічних показників застосовуються різні форми отворів сіючого полотна гумових сит: квадратна, кругла та прямокутна. Гумові сита мають термін служби від 6 місяців, що значно перевищує термін служби просівальних поверхонь з металевих сіток.

Гумова просівальна поверхня набирається з окремих модулів гумових сит, що встановлюються в спеціальних профілях (підситниках). Це дає можливість швидкої заміни карти гумового сита, що вийшла з ладу, і враховуючи той фактор, що гумові сита в силу особливостей технологічного процесу просівання мають нерівномірне зношування за площею ярусу грохоту, та дозволяє істотно скоротити витрати на придбання гумових сит.



Рисунок 7. Двохкомпонентне гумове сито

Також можна виготовити сито для грохота з зносостійкої низьколегованої гарячекатаної сталі товщиною до 20 мм. Сита у грохотах здійснюють розподіл порід на фракції шляхом просівання і мають широке застосування в гірничодобувній промисловості [5]. В процесі експлуатації сита грохотів піддаються ударним навантаженням і зносу.

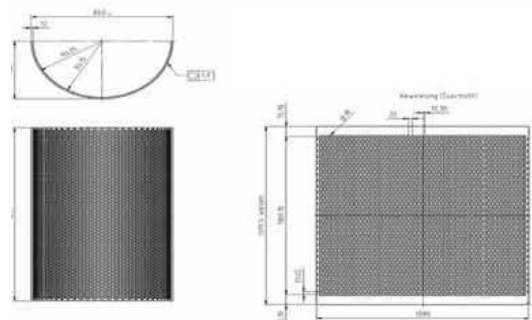


Рисунок 8. Сталеві сита з радіусом гнуття та плоскі.

На відміну від плетених сит, які робляться з проволони, де застосовується одна форма комірки,

сита для грохотів з листової сталі володіють наступними перевагами: жорсткість, міцність і тривалий термін служби. Залежно від виду матеріалу просіювання можна виготовити сита за ескізами або крес-

ленням з будь-якими формами осередків і радіусом гнуття. Перевага використання зносостійкої сталі полягає в підвищенні терміну експлуатації устаткування за рахунок фізико-хімічних властивостей сталі.

Висновки

1. В промисловості будівельних матеріалів застосовується різні конструкції сит для сортування, переважна більшість сит сучасних.
2. Найбільш ефективними є поліуретанові сита тому, що мають довгий термін служби, легкість у монтажі і змінність зношених ситових модулів.

Література

1. Мартынов В.Д., Алешин Н.И., Морозов Б.П. Строительные Машины и монтажное оборудование / В.Д. Мартынов. – Москва. – 1990. – 352с.
2. Назаренко, І. І. Машины для виробництва будівельних матеріалів: підручник / І. І. Назаренко. – К.: КНУБА. – 1999. – 544 с.
3. Бауман В.А. Вибрационные грохоты / В.А. Бауман. М. – Л. : Наркомпромтяж, 1983. – 80с.
4. Ярмо Элоранта (Jarmo Eloranta), Дробление и Сортировка (Metso Minerals).- 2007.
5. Ресурси мережі Internet.
6. Потураев В.М., Франчук В.П., Надутий В.П. Вібраційна техніка і технології у енергоємних підприємствах, м.: Дніпропетровськ, «Поліграфіст», 2001р., 190с.

УДК 632.35: 679.8: 517.2

Колин В.М., Часовщик Ю.Я.¹

О ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЧЕТАНИЯ РАЗНЫХ СРЕДСТВ БОРЬБЫ С ВРЕДНЫМИ ВИБРАЦИЯМИ И ШУМОМ ПРИ ОБРАБОТКЕ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

АНОТАЦІЯ. Наведено аналітичні та експериментальні методи розрахунку ефективності різних комплексів засобів при демпфуванні звукових коливань.

АННОТАЦИЯ. Приведены аналитические и экспериментальные методы расчета эффективности различных комплексов средств при демпфировании звуковых колебаний.

ANNOTATION. An analytical and experimental methods for calculating the efficiency of different systems facilities for damping sound vibrations are investigated.

Постановка проблемы. Вибрации и генерируемый ими шум наносят вред как самой технике так и персоналу, участвующему в технологическом процессе. Микротрещины и несанкционированное раскрытие соединений приводят к снижению прочности и долговечности как инструмента так и машины в целом. Велик также вред в снижении качества обрабатываемого камня порой приводящее к его разрушению при обработке.

Гораздо больший вред наносит шум, на определенных частотах, распространяющийся в окружающей среде. Это преждевременная глухота машинистов-операторов, пониженный порог внимательности, приводящий к травмам, анемии и другим заболеваниям хорошо известным специалистам-врачам. Существующие, на сегодня, методы и средства, технически достаточно сложны и дорогостоящи, что затрудняет их внедрение.

Задача настоящей работы устранить эти недостатки.

Анализ основных исследований и публикаций. Изучая существующие технические решения для осуществления поставленной задачи, мы сделали вывод, что на современном уровне развития науки и техники возможна разработка новых технических решений, комбинация которых значительно эффективнее и конкурентоспособнее каждого в отдельности [6], что и явилось оригинальностью наших решений воплощенных в А.С. и патентах [2].

Пути решения указанной проблемы. На основании наших экспериментальных исследований, проведенных ранее, нами подобран ряд комбинаций различных решений проблемы снижения вредного действия высокочастотных вибраций и шума.

Основной материал. При выборе комплекса средств вибро- и шумоподавления следует исходить из конкретных причин их образования, эффективно-

¹ Колин В.М., к.т.н., доцент, ОГАСА,
Часовщик Ю.Я., ст. преподаватель, ОГАСА.

сти существующих технических решений, направленных на устранение или локализацию действия вредных явлений, экономических и конструктивных соображений, а также эксплуатационных свойств устройств и технологии процесса [1].

Наш опыт показал, что наличие такого количества граничных условий безусловно не может, в достаточной степени, осуществить ни одно из существующих технических решений самостоятельно, в большинстве случаев борьбы с вредными явлениями вибрации и шума.

Поэтому нами предлагаются комплексы технических решений для достижения поставленной цели с учетом экономического, технологического, эксплуатационного и конструктивного факторов в целом [5].

Например, комплексы средств:

- укрытие — стабилизирующие устройства;
- демпфирование колебаний корпуса диска — стабилизирующее устройство;
- укрытие — применение слоистых конструкций;
- укрытие — демпфирование колебаний — стабилизирующее устройство.

В качестве эффективного применения комплекса средств снижения вредного действия вибрации и шума при резании природного камня представлен комплекс — «Укрытие, кусочно-слоистый режущий диск, заполнение жидкой пеной с пенообразователем в зону резания, под кожух с охлаждающей жидкостью» [2].

Анализ методики расчета укрытий, с различными конструктивными элементами, позволяет найти наиболее эффективные решения подавления шума в источнике.

В качестве основных величин при нормировании шума, в расчетах по шумоподавлению, принимают уровень звукового давления [1].

Уровень звукового давления определяется по формуле (1):

$$L = 20 \cdot \lg \frac{P_{cp}}{P_0} \text{ ,дБ} \quad (1)$$

где P_{cp} — среднеквадратичное звуковое давление в точке измерения;

Среднеквадратичное значение звукового давления определяется через мгновенные значения по формуле (2):

$$P_{cp} = \sqrt{P^2} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T P^2 \cdot dt} \quad (2)$$

где t — текущее время;

T — период усреднения;

В практических вопросах борьбы с шумом $T = 50 \dots 100$ мс.

Обычно, физическое состояние среды в звуковом поле характеризуется как звуковым давлением, так и колебательной скоростью частиц среды — мгновенным значением скорости колебательного движения частиц среды при распространении в ней звуковой волны.

Мощность на единицу площади, передаваемая в направлении распространения звуковых волн, определяется выражением (3):

$$I = v \cdot p \cdot \cos \theta \quad (3)$$

где v — среднеквадратичное значение колебательной скорости частиц в звуковой волне, м/с;

p — среднеквадратичное значение звукового давления, Н/м

θ — сдвиг фаз между колебательной скоростью и звуковым давлением.

Если звуковая волна распространяется в свободном звуковом поле, то колебательная скорость определяется по формуле (4):

$$v = \frac{P}{\rho \cdot C} \quad (4)$$

где ρ — плотность среды, кг/м³

C — скорость звука в среде, м/с.

Звуковое давление и интенсивность звука, являясь характеристиками звукового поля в определенной точке пространства, зависят от местоположения точки измерения и направленности излучения звуковых волн.

В свободном звуковом поле звуковую мощность источника определяем интегрированием интенсивности звука по всем направлениям от источника, по формуле (5):

$$P = \int I_n \cdot dS \quad (5)$$

где I_n — интенсивность потока звуковой энергии в направлении перпендикулярном элементу поверхности.

Уровень звуковой мощности источника шума определяем по формуле (6):

$$L_P = 10 \lg \frac{P}{P_0} \quad (6)$$

В качестве порогового значения звуковой мощности обычно выбирают $P = 10^{-12}$ Вт.

При встрече с поверхностью звуковые волны частично поглощают энергию, частично отражаются от поверхности.

Процесс поглощения поверхностью звуковой энергии зависит от структуры материала и от конструкции отделочного слоя. Отношение энергии, поглощенной поверхностью к энергии падающей на поверхность определяет коэффициент звукопоглощения, т.е. (7):

$$\alpha = \frac{E_{nлг}}{E_{над}} \quad (7)$$

Отношением отраженной энергии $E_{отр}$ к падающей $E_{пад}$ определяем коэффициент отражения (8):

$$\beta = \frac{E_{отр}}{E_{над}} \quad (8)$$

Эти коэффициенты связаны между собой отношением:

$$\alpha = 1 - \beta \quad (9)$$

При решении вопросов борьбы с шумом основным является определение требуемого снижения его для последующего выбора и расчета необходимых для этого материалов [1].

Требуемое снижение уровней звукового давления в расчетной точке от одного источника шума определяется как разность ожидаемого уровня звукового давления в расчетной точке до осуществления мероприятий по снижению шума и допустимого уровня:

$$\Delta L_{TP} = L - L_{don} \quad (10)$$

Одним из возможных способов борьбы с шумом различных механизмов используем устройство специальных звукоизолирующих кожухов. Кожухи изготавливаем из плотных материалов: металла, дерева, стеклопластика и др. Внутреннюю поверхность стенок кожуха облицовываем слоем звукопоглощающего материала. При конструировании кожухов самое серьезное внимание уделяем устранению неплотностей, щелей и отверстий, которые снижают звукоизоляционную способность кожуха.

При проектировании кожуха прежде всего определяем его требуемую эффективность по формулам (11), (12):

$$\Delta L_{CF,TP} = L_P - L_{don} + 5 \text{ дБ} \quad (11)$$

или

$$\Delta L_{CF,TP} = L - 10 \cdot \lg S - L_{don} \quad (12)$$

Требуемую звукоизолирующую способность кожуха определяем по формуле (13):

$$R_{K,TP} = \Delta L_{CF,TP} + 10 \cdot \lg \frac{S_K}{S_{ист}} \quad (13)$$

Спектр звуковой мощности источника (дисковой пилы)

Среднегеометрическая частота	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления	75	80	95	98	99	98	104	102

Акустическая эффективность кожуха зависит от звукоизолирующей способности его стенок, размеров кожуха, шума, наличия звукопоглощающей облицовки под кожухом, от способа его установки, площади щелей в кожухе и свободной от укрытия площади источника.

Звукопоглощающая способность стенок кожуха определяется поверхностной плотностью и жесткостью, в значительной степени зависит от формы стенок.

Требуемая звукоизолирующая способность стенок кожуха определяется по формуле

$$R_{K,TP} = \Delta L_{CF,TP} + 10 \cdot \lg \frac{S_K}{S_{ист}} \quad (16)$$

При укрытии дискового инструмента кусочно-слоистой конструкции, стальным кожухом снижение шума недостаточно, так как режущая часть пильного диска укрыта не полностью. В этом случае можно в качестве звукопоглощающего материала использовать жидкую пену, которая полностью укрывая дисковую пилу (источник звука) позволит снизить шум до уровня допустимого санитарными нормами.

Расчет укрытия дисковой пилы кожухом из стали толщиной 3 мм проводим следующим образом:

Дисковая пила диаметром 500 мм.

Расчетная точка находится на расстоянии 1 м от поверхности пилы в направлении перпендикулярном ее плоскости.

Определяем требуемую эффективность кожуха по формулам:

$$\Delta L_{CF,TP} = L_P - 10 \cdot \lg S - L_{don} + 5 \text{ дБ} \quad (14)$$

$$\Delta L_{CF,TP} = L - L_{don} + 5 \text{ дБ} \quad (15)$$

где L_P — октавный уровень звуковой мощности источника шума;

S — площадь воображаемой поверхности правильной геометрической формы, окружающей пилу и проходящей через расчетную точку;

L — октавный уровень звукового давления в расчетной точке.

Для небольших источников, у которых $2 \cdot l_{\max} \cdot l_r$ (l — максимальный абсолютный размер источника, м; r — расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки) $S = 2\pi r^2$

$2 \dots 0,55 < 1,23$ — условие выполняется

Пов. = $2 \cdot \pi \cdot 1,27^2 = 10,14 \text{ м}^2$

Площадь воображаемой поверхности окружающей источник шума $10,14 \text{ м}^2$.

Расчет акустической эффективности сводим в таблицу 1.

Таблица 1

Площадь источника звука равна:

$$S_{ист} = \pi \cdot r^2 = 0,2 \text{ м}^2$$

Площадь кожуха равна:

$$S_{кож} = \left(\frac{\pi \cdot r^2}{2} + \frac{a+u}{2} \right) \cdot 2 + \left(\pi \cdot r^2 + a \cdot c \right) \cdot E = 1,52 \text{ м}^2 \quad (17)$$

$$10 \lg \frac{S_K}{S_{ист}} = 8,8 \approx 9 \text{ дБ}$$

Подходящей считаем ту конструкцию, звукоизолирующая способность которой, в каждой частотной полосе, не ниже требуемой. Допускается превышение требуемой по расчету звукоизолирующей способности, но не более 3 дБ и только на одной октавной полосе. В данном случае превышение требуемой по расчету звукоизоляции наблюдается на двух частотах: 1000^{-1} дБ(А) и 2000^{-1} дБ(А). Следует увеличить толщину

стенки или заменить материал кожуха, или нанести на внутренние стенки кожуха слой звукопоглощающего материала. Остановимся на третьем варианте – в качестве звукопоглощающего материала используем жидкую пену. Величину добавочного поглощения определяем по формуле (18):

$$\Delta A = \alpha \cdot S_{обл} \quad (18)$$

где α – коэффициент звукопоглощения конструкции;

S – площадь этой конструкции.

Величину снижения уровня шума, в результате применения звукопоглощающего материала определяем по формуле (19):

$$\Delta L = 10 \lg \left(1 + \frac{\Delta A}{A_0} \right) \quad (19)$$

Эквивалентную площадь поглощения A_0 и средний коэффициент звукопоглощения на каждой октавной полосе определяем по формулам

$$A_0 = \frac{B \cdot S}{B + S} \quad (20)$$

$$\alpha = \frac{H}{B + S} \quad (21)$$

где B – постоянная помещения;

S – суммарная площадь ограждающих поверхностей.

Величины A_0 и α можно определить экспериментально путем измерения времени реверберации T и последующего вычисления по формулам:

$$A_0 = 0,16 \cdot \frac{V}{T_0} \quad (22)$$

$$\alpha_0 = \frac{A_0}{S} \quad (23)$$

Поле в трубе интерферометра характеризуется коэффициентом стоячей волны равным отношению амплитуды давления в максимуме ($P_{\max}$) к амплитуде давления в минимуме ($P_{\min}$).

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \quad (24)$$

Для жесткой стенки коэффициент очень велик по значению, а коэффициент поглощения, определяемый по формуле

$$\alpha_0 = \frac{4}{n + \frac{1}{n} + 2}, \quad (25)$$

практически равен нулю.

Расположение на жесткой стенке образца звукопоглощающего материала приводит к снижению величины α_0 в следствие затухания амплитуды звукового давления и дает возможность определить ее численно, а следовательно и вычислить коэффициент звукопоглощения по приведенной выше формуле.

В качестве звукопоглощающей облицовки кожуха используем жидкую пену.

Пена представляет собой дисперсную систему, состоящую из ячеек – пузырьков газа, разделенных пленками жидкости. Для оценки свойств пены, а значит и ее пригодности для наших целей существуют следующие характеристики. Основные показатели – кратность пены, ее дисперсность и стабильность (устойчивость во времени).

Кратность пены – отношение объема пены к объему раствора:

$$V_{II} = V_{\Gamma} + V_{\mathcal{K}} \quad (26)$$

$$\beta = \frac{V_{II}}{V_{\mathcal{K}}} = \frac{V_{\Gamma} + V_{\mathcal{K}}}{V_{\mathcal{K}}} \quad (27)$$

Результаты расчета укрытия кусочно-слоистой пилы кожухом, заполненным жидкой пеной приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета укрытия кусочно-слоистой дисковой пилы кожухом с пенообразователем

Величина	Ед. измер	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Октавный уровень звукового давления	дБ	75	80	85	98	98	99	104	102
Допустимый по нормам L_d	дБ	103	96	91	88	85	83	81	80
Требуемая эффект. звукопоглощающего кожуха $L_{тр.эф}$	дБ	-23	-11	9	15	18	21	28	27
Требуемая звукоизолир. способность стенки кожуха $R_{к.тр}$	дБ	-14	-2	18	24	30	30	37	38
Звукоизолирующая способность стального листа (3 мм)	дБ	19	23	27	31	35	37	30	39

Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты измерения уровня звукового давления

Результаты эксперимента	Среднегеометрическая частота активной полосы							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стандартная пила	77	85	98	102	99	100	105	104
Слоистая пила с кожухом	75	80	95	98	98	99	104	102
Пила с кожухом	74	82	92	93	94	99	100	101
С подачей пены	74	85	81	82	88	81	73	68

Общая тенденция понижения уровня звукового давления при применении каждого из технологических решений очевидна, при рассмотрении результатов измерений.

Последняя строка таблицы показывает вполне удовлетворительные значения уровней шума, допустимые для производственных условий.

Выводы

Теоретические предпосылки при расчете укрытий с заполнением жидкой пеной позволяют с достаточной точностью прогнозировать снижение шума в окружающей среде.

Применение комплексов средств снижения вредного действия шума и вибрации позволяет частично решить каждую из поставленных задач по шумоподавлению, а в целом наиболее экономичным способом решает задачу вибро- и шумобезопасности камнерезных машин.

Литература

1. Справочник проектировщика. Защита от шума (под редакцией Е.Я.Юлина). М., Стройиздат, 1974, 350 с.
2. Патент №2035633, Бюл. №24.20.05.95 г.
3. Назаренко І.І.. Машини для виробництва будівельних матеріалів. КНУБА, Київ, 1999. 485 с.
4. Баладінський В.А., Назаренко І.І., Онищенко О.Г. Будівельна техніка. – К.:КНУБА, ПНТУ. – 2002. 465 с.
5. Колин В.М., Часовщик Ю.Я. О проблемах снижения вредного действия вибрации и шума при обработке природного камня в условиях транзитивной экономики// Управління проектами в умовах транзитивної економіки. III міжнародна практична конференція магістрів, аспірантів та науковців. Одеса, 2014. – т.1. – С.90–93.
6. Колин В.М., Часовщик Ю.Я. Некоторые аспекты фундаментальных исследований низкочастотных и высокочастотных колебаний кусочно-слоистых систем// Вісник ОДАБА. – Одеса. – 2015. – Вип. 57. – С.206–208.

УДК 69:338.45; 725.3

Лилов О.В.¹

СУЧАСНІ ОРГАНІЗАЦІЙНІ СХЕМИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНВЕСТИЦІЙНО-БУДІВЕЛЬНОГО ПРОЕКТУ ДЕВЕЛОПЕРСЬКОЮ КОМПАНІЄЮ

Анотація: У статті досліджено особливості розвитку девелопменту та обґрунтовано впровадження окремих позитивних практик щодо організації та управління будівництвом, враховуючи досвід закордонних країн в умовах фінансової кризи, а саме Фі-девелопмент.

Ключові слова: «служба замовника», девелопмент, Фі-девелопмент., ЕРС-підпрядник, ЕРСМ-підпрядник.

Annotation: In the article the peculiarities of development and implementation of the individual reasonably good practices for the organization and management of construction, taking into account international experience in the financial crisis, namely Phi-development.

Keywords: "Customer service", development, Phi-development., EPC contractor, EPCM contractor.

Актуальність. Сьогодні стало очевидно, що лише здоровий глузд недостатній, потрібно звернення до глибоких наукових досліджень явищ і закономірностей, супроводжуючих розвиток в Україні органі-

заційних механізмів управління проектами житлового будівництва. Складність, багатоплановість і недостатня опрацьованість даної проблеми, об'єктивна необ-

¹ Лилов О.В., аспірант кафедри управління та організації будівництва КНУБА.

хідність її наукового осмислення визначили вибір теми, мету та зміст дослідження.

Метою статті є аналіз основних сучасних організаційних схем реалізації інвестиційно-будівельного проекту девелоперською компанією

Виклад основного матеріалу. Вдосконалення форм, структур, методів і механізмів управління є одним з найбільш актуальних напрямків підвищення ефективності будівельного виробництва. За кордоном цим проблемам присвячена значна кількість наукових праць [1-3]. Вивчення досвіду управління будівництвом за кордоном представляє як теоретичний, так і практичний інтерес. Форма і структура управління конкретним будівельним проектом визначаються контрактом - основним документом, що регламентує взаємини між учасниками інвестиційного будівельного процесу - через встановлення взаємовідносин між будівельною фірмою (підрядником) та іншими учасниками проекту.

Вченими виділяється три основних форми управління проектом будівництва: традиційна, проектно-будівельна, - «проектно-орієнтоване управління» Основна відмінність між цими формами визначається часом вступу учасників у проект і покладеної на них відповідальності. Так, наприклад, в умовах традиційної генпідрядної форми генеральний підрядник приступає до виконання своїх обов'язків після завершення проектування і несе відповідальність лише за будівельну частину проекту. Аналізуючи причини звернення замовників до нових організаційних форм замість традиційної генпідрядної можна виділити наступні фактори:

- Динамічність будівельного ринку;
- Ускладнення об'єктів і підвищення споживчих вимог до них;
- Зростання вимог з боку громадських та спеціалізованих організацій;
- Неузгодженість дій незалежних виконавців і виникає у зв'язку з цим безлад, що веде до зриву термінів, численним переробкам і фінансових втрат;
- Жорсткі вимоги ринку за термінами і якістю вводяться.

Проаналізувавши форми та організаційні структури закордонних будівельних компаній можна зробити наступні висновки:

1. У зарубіжному будівництві застосовується велика кількість різноманітних контрактів, а так само використовуються реальні механізми та санкції щодо відшкодування збитків та зниження ризиків у проекті.

2. Спостерігається явна тенденція збільшення обсягу участі будівельної фірми в процесі управління проектом.

3. Управління будівництвом за кордоном базується на застосуванні проектного підходу.

4. У світовій практиці управління будівельними проектами склалася стійка тенденція до децентралізації

Вибір організаційної структури і формування організаційного механізму управління проектом житлового будівництва залежить від багатьох змінних:

масштаб будівництва (проекту), його складність, досвід компанії-замовника в подібних проектах та ін. Сама класифікація систем реалізації досить умовна і гнучка, допускає різні варіації, виходячи з особливостей конкретного проекту. Позитивні елементи зарубіжного досвіду зі створення та функціонування проектно-орієнтованих форм управління можуть з урахуванням специфіки економіки та законодавства бути використані в будівельному комплексі України.

Якщо не зачіпати функції експлуатації створеного об'єкта нерухомості, основні функції служби замовника на етапах реалізації інвестиційних проектів в Україні наступні[5]:

ПРАВА СЛУЖБИ ЗАМОВНИКА

- Здійснювати щоденний контроль і нагляд за ходом і якістю виконуваних Робіт, дотриманням термінів їх виконання, якістю наданих Підрядником обладнання та матеріалів, не втручаючись в оперативно-господарську діяльність Підрядника на Майданчику будівництва за винятком випадків, коли персонал Підрядника порушує чинне законодавство При виявленні відхилень від проектно-документації, заявити про це Підряднику. Підрядник зобов'язаний негайно і в повному обсязі виконувати отримані в ході Робіт вказівки Замовника, якщо такі вказівки не суперечать умовам Договору та Проектній документації .
- Здійснювати загальний нагляд за ходом Робіт, перевірку виконання та якості Робіт, контроль над дотриманням нормативних правових актів, існуючих проектних рішень, робочих креслень, технології за затвердженими Сторонами алгоритмами дій . Здійснювати загальний контроль над веденням і змістом Журналів виробництва Робіт, Журналів, необхідних у відповідності чинного законодавства Україна, вносити до них зауваження, що стосуються ходу та якості виконання Робіт, в будь-який час вносити пропозиції з усіх питань будівництва та виконання Робіт.
- Вимагати від Підрядника заміни матеріалів і виробів на відповідні, якщо матеріали і вироби, що використовуються при здійсненні Робіт, не відповідають Проектній документації .
- Вимагати прийняття заходів щодо усунення недоліків, пов'язаних з надзвичайними обставинами та форс-мажорними обставинами протягом усього періоду виконання Робіт .
- Для інспекції якості виконуваних Підрядником Робіт, а також в процесі приймання закінчених Робіт, залучати незалежного експерта ;
- Делегувати свої повноваження Представнику Замовника (інженерній організації); Мати інші права, що випливають із законодавства України і звичаїв ділового обороту.

ЗАМОВНИК ЗОБОВ'ЯЗАНИЙ :

- Передати Підряднику на період Робіт будівельний майданчик придатний для виробництва Робіт ;
- Призначити відповідальну особу щодо здійснення перевірок та контролю за ходом виконання

Робіт, якістю і повнотою обсягу виконуваних Підрядником Робіт за Договором.

- У разі виявлення дефектів (недоліків, невідповідностей, недоробок) в Матеріалах і/або виконаних роботах, відмовитися від прийняття виконаних Робіт і не оплачувати частково або повністю виконані Роботи, направивши мотивовану письмову відмову Підряднику.
- У разі невиконання Підрядником зобов'язань щодо усунення дефектів (недоліків, невідповідностей, недоробок) у виконаних роботах, в тому числі прихованих, у строки, встановлені Договором, Замовник письмовим приписом видає розпорядження Підряднику про зупинку Робіт в цілому або її частини до усунення причин зупинки.
- Якщо Підрядник не може або не хоче виправити Роботу і не відповідає письмово або діями протягом семи днів після отримання письмового зауваження про це від Замовника, Замовник має право по закінченню зазначеного семиденного терміну повторити свою вимогу. Якщо Підрядник протягом наступного семиденного терміну виявляється не в змозі виправити вказані Дефекти, Замовник може, не відмовляючись від свого права на застосування інших методів впливу, виконати цю Роботу із залученням третьої особи. У таких випадках видається відповідний наказ про зміни, на підставі якого з суми, що підлягає до виплати Підряднику, вираховується вартість коригування зазначених Дефектів, включаючи компенсації вимушених витрат Замовника за додаткові послуги, Роботи. Якщо суми, що підлягають виплаті Підряднику, недостатні для покриття зазначених витрат, Підрядник зобов'язаний виплатити Замовнику різницю зі своїх коштів.
- Приймати від Підрядника виконані Роботи та підписувати відповідні Акти приймання виконаних Робіт.

У ринковій економіці, "служба замовника" виконує цілий комплекс робіт з реалізації інвестиційного проекту. Залежно від прийнятої схеми роботи, склад робіт змінюється. У девелоперської компанії, «служба замовника» зазвичай виконує функції ФІ-девелопера[4].

«Служба замовника» може функціонувати в різних умовах, залежно від прийнятої схеми реалізації інвестиційного проекту. Залежно від обраної схеми поділу обов'язків між учасниками інвестиційного проекту, можуть бути реалізовані наступні базові схеми:

- Будівництво господарським способом;
- Будівництво із залученням генерального будівельного підрядника на умовах:
- Залученням генерального будівельного підрядника на умовах ЕРС1;
- Залученням генерального будівельного підрядника на умовах ЕРСМ2;
- Реалізація інвестпроекту із залученням ФІ-девелопера;

- Реалізація інвестпроекту із залученням концесійного девелопера (за схемою BOT4 або BTO5);

ЕРС - англійська аббревіатура (engineering, procurement, construction - інжиніринг, постачання, будівництво), під якою розуміється договір на будівництво «під ключ» з фіксованою (паушальною) ціною («lump sum»). ЕРС-підрядник - це генеральний підрядник, який виконує за тверду ціну основний обсяг робіт інвестиційно-будівельного проекту і приймає на себе всі ризики його здійснення з моменту проектування і до моменту передачі готового об'єкта замовникові (включаючи виконання гарантійних зобов'язань), за якими він несе фінансову відповідальність перед Замовником. ЕРС-контракт передбачає, що основний обсяг роботи ЕРС-підрядник виконує власними силами, тому не передбачається спеціальне винагороду за організацію та управління роботами залучаються контрагентів нижнього рівня

ЕРСМ - англійська аббревіатура (engineering, procurement, construction management - інжиніринг, постачання, будівництво, комплексне управління будівництвом). Предмет договору, так само як і у випадку з ЕРС - проектування, обладнання, будівництво та передача замовнику повністю готового об'єкта «під ключ». ЕРСМ-підрядник є генеральним підрядником, тобто договори з субпідрядниками укладає від свого імені. ЕРСМ-підрядник - це генеральний підрядник, повністю виконує інвестиційний проект і приймає на себе ризики з управління проектом з моменту проектування і до моменту передачі готового об'єкта замовникові (включаючи виконання гарантійних зобов'язань). ЕРСМ-контракт передбачає і загальну вартість проекту з урахуванням винагороди ЕРСМ-підрядника, і фіксований термін здачі об'єкта в експлуатацію, досягнення основних технічних параметрів об'єкта.

BOT (Build - Operate - Transfer), тобто "лад - експлуатуй - передай".

BTO (Build - Transfer - Operate), тобто «Лад - передай - експлуатуй» і аналогічні їм. У відповідності зі схемами BOT та BTO Девелопер будує, вводить в експлуатацію та експлуатує об'єкт нерухомості з метою повернення інвестицій і отримання прибутку протягом встановленого договором строку.

«best-use» (найкраще використання) - маркетингове дослідження, що виявляє оптимальний варіант використання земельної ділянки або існуючого об'єкта нерухомості з точки зору максимізації вартості об'єкта в часі. При цьому розглядаються кілька альтернативних варіантів використання і вибирається оптимальний варіант. При аналізі best-use враховуються містобудівні, ринкові, економічні фактори, робиться SWOT-аналіз.

Фі-девелопмент (українського аналога поки немає), вартість якого базується на принципі «витрати плюс винагорода» (cost plus fee). У цій моделі Девелопер перебирає фінансових ризиків і не бере участі в фінансуванні проекту, а працює, по суті справи, на фіксованому гонорар. Фі-девелопер працює на гонорар, що розраховується певним чином за угодою з

Інвестором. При реалізації цієї моделі Інвестор наймає ФІ-девелопера, щоб він запропонував найбільш вигідний варіант використання, наприклад, земельної ділянки Інвестора або існуючого вже об'єкта нерухомості, побудував «під ключ» затверджений об'єкт і передав його Інвестору для подальшого використання, продажу або експлуатації. Можливий варіант, що ФІ-девелопер надає послуги з комерційної реалізації об'єкта на тих же умовах. При цьому ФІ-девелопер ніколи не бере участі в проекті своїми грошима. В даному випадку він проводить всі роботи, в тому числі розробку бізнес-плану, проектування, необхідні узгодження, будівництво та залучення клієнтів виключно на кошти Інвестора. На всі необхідні роботи він залучає фахівців або спеціалізованих підрядників, але відповідальність за реалізацію проекту лежить на ФІ-девелопера в повному обсязі. У разі невиконання зобов'язань за проектом ФІ-девелопер відповідає об'ємом своєї винагороди.

Попит на послуги ФІ-девелопменту в основному формується з боку зарубіжних компаній, для яких будівництво є непрофільним бізнесом (це торгові, промислові, транспортні компанії). ФІ-девелопмент (FEE-development), вартість якого базується на принципі «витрати плюс винагорода» (cost plus fee). У цій моделі девелопер делегує фінансові ризики і не бере участі в фінансуванні проекту, а працює, по суті справи, на фіксованому гонорарі. ФІ-девелопер працює на гонорар, що розраховується певним чином за угодою з Інвестором. При реалізації цієї моделі, залежно від цілей Інвестора, ФІ-девелопер може бути найнятий для виконання наступних робіт:

- Запропонувати найбільш вигідний варіант використання, наприклад, земельної ділянки Інвестора або будівлі («best-use» -аналіз);

- Побудувати «під ключ» затверджений об'єкт і передати його Інвестору для подальшого використання, продажу або експлуатації;

- Можливий варіант, що ФІ-девелопер надає послуги з комерційної реалізації об'єкта на умовах агента.

При цьому ФІ-девелопер ніколи не бере участі в проекті своїми грошима. В даному випадку він проводить всі роботи, в тому числі розробку бізнес-плану, проектування, необхідні узгодження, будівництво та залучення клієнтів виключно на кошти Інвестора. Залежно від ситуації, ФІ-девелоперу можуть доручити як окремі елементи інвестиційного проекту, так і весь проект цілком на різних умовах:

- Виконання всього комплексу робіт з реалізації проекту

- Виконання функцій служби замовника-

- Виконання функцій будівельного інжинірингу

- Інші випадки залучення ФІ-девелопера;

На всі необхідні роботи ФІ-девелопер залучає фахівців або спеціалізованих підрядників, але відповідальність за реалізацію проекту лежить на ФІ-девелопері в повному обсязі. У разі невиконання зобов'язань за проектом ФІ-девелопер відповідає об'ємом своєї винагороди. У випадку, якщо ФІ-девелоперу доручають і весь комплекс робіт і адміністрування при реалізації інвестиційного проекту, то він співпрацює з усіма учасниками згідно делегованими йому повноваженнями на усіх стадіях життєвого циклу об'єкта.

Крім перерахованих базових схем, можливий різні комбінації договірних відносин і прав власності на готовий об'єкт. Наприклад компанія може господарським методом будувати об'єкт на продаж - тоді це вже спекулятивний девелопмент і т.п.

Висновки

Пошук сучасних інструментів модернізації процесів організації будівельного виробництва потребує подальшого вивчення закордонного досвіду та впровадження в практику реалізації інвестиційно-будівельних контрактів нових учасників, нові форми їх взаємодії та організації на основі проформ контрактів FIDIC[6] з визначенням ще одного «гравця» інженера-консультанта.

Література

1. Артамонов А.Н. Совершенствование организационных структур управления строительных фирм/ А.Н.Артамонов,Н.М.Чикишева. -СПб.: Изд-во С.-Петербург, гос. ун-та экономики и финансов, 2002.-120 с.
2. Асаул Н.А. Методические основы формирования и совершенствования организационных структур строительных предприятий. (На примере Санкт-Петербурга), (автореферат). -СПб., 2001.-17 с.
3. Ричард Б. Пейзер, Анна Б. Фрей. Профессиональный девелопмент недвижимости. Руководство ULI по ведению бизнеса //UrbanDevelopmentPublishing (UDP), 2004. – 452 с.
4. http://www.piterdevelopment.ru/our/articles/articles_27.html
5. Постанова Кабінету Міністрів України „Про затвердження Загальних умов укладення та виконання договорів підряду в капітальному будівництві», від 01 серпня 2005 року № 668
6. <http://www.fidic.org>

ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА БУДІВНИЦТВА

Науково-технічний журнал

Випуск 13

Адреса редакції:

03037, м. Київ,
Просп. Повітрофлотський, 31,
тел.: 241-5447, тел./факс: 252-4214

Формат 60х84/8.

Наклад 300. Папір офсетний. Ум.-др. арк. 4,1.

Надруковано в “МП Леся”.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб’єктів видавничої справи серія ДК № 892 від 08.04.2002.

“МП Леся”

03148, Київ, а/с 115.

Тел./факс: + 38 050 469 7485, 407 6197