

УДК 691.3: 666.972

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІБРОПРЕСОВАНИХ БЕТОННИХ ВИРОБІВ (ДОСВІД ВИРОБНИЦТВА)

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF ENSURING THE IMPROVEMENT OF VIBRO-PRESSED CONCRETE PRODUCTS QUALITY (PRODUCTION EXPERIENCE).

Каганов В.О., к.т.н., доцент, ORCID/ ID: 0000-0002-9607-2951, (Національний університет «Львівська політехніка, Львів)

V.Kahanov, Candidate of technical sciences, Docent of the department "Construction production", (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

Стаття автора присвячена особливостям використання в процесі вібропресування наджорстких бетонних сумішей при виготовленні фігурних елементів мостіння, каменів бетонних бортових і малих архітектурних форм специфічних технологічних прийомів та спеціалізованого бетоноформуального обладнання.

The author's article is devoted to the peculiarities of specific technological techniques and specialized concrete forming equipment use in the process of ultra-hard concrete mixtures vibro-pressing in the production of shaped paving elements, concrete side stones and small architectural forms. The author's material uses the data of many years of industrial production experience on the technological lines of the "Mii Dvir" Trademark (TM) (Lviv), where the main production sections are considered, which provide a full cycle of manufacturing elements from the line of preparation of inert materials to the production of finished concrete vibro-pressed products.

In this publication, the experience of industrial serial production of vibro-pressed products of a wide range based on ultra-hard concrete mixtures using mixtures with a water-cement ratio (W/C) of up to 0.36 is used.

In the period from 1997 to 1999, with the participation of the author of the article in co-authorship with the engineering and technical staff of TM "Mii Dvir" at the production facilities located in the village of Mylyatich, Lviv District, Lviv Region technological regulations were developed (TR number 40.207 101.031-99) for serial production of concrete products by the method of semi-dry vibro-pressing. In the article, the author provides a list of optimal technological equipment at all the main stages, which include grinding, screening and washing of construction sand, granite rubble and sifting and

quartz sprinkles, with a description of further operations related to the manufacture of finished vibro-pressed concrete products.

The author's publication aims to carry out a comprehensive analysis of the production of vibro-pressed concrete products of increased architectural expressiveness and their physical and mechanical characteristics, which include the use of colored fine-grained super-stiff mixtures.

Ключові слова: вібропресування; наджорстка бетонна суміш; бетонні фігурні елементи мостіння; гранітний щебінь; гранітний відсів; кварцова посипка; будівельний пісок.

vibropressing; ultra-hard concrete mixture; concrete shaped paving elements; granite rubble; granite sifting; quartz sprinkle; building sand.

Вступ. З метою отримання високоякісних компонентів з інертних матеріалів для вібропресування бетонних сумішей жорсткістю від 100 до 120 секунд по приладу Вебе на виробничій базі ТМ «Мій Двір» в с.Милятичі Львівського району Львівської області був збудований комплекс для підготовки та фракціонування щебеня, піску, гранітного відсіву та кварцової посипки. Алгоритм функціонування технологічної лінії подрібнення, промивки та фракціонування інертних матеріалів на ТМ «Мій Двір», включає в себе наступні елементи як: по-перше: це транспортування інертних матеріалів; по-друге: підготовка гранітного щебеня, відсіву після подрібнення гранітного каменя, кварцової посипки та будівельного піска; по-третє: організація процесу приготування наджорсткої бетонної суміші для основного та фактурного (лицевого) шарів бетону вібропресованої готової продукції.

Постановка мети і задач досліджень. Автор в публікації поставлена мета сформулювати актуальні пропозиції щодо визначення переліку оптимального комплексу технологічного обладнання для подрібнення фракціонування та промивки інертних компонентів для виготовлення якісних наджорстких бетонних сумішей. Задачею публікації є проведення аналізу наведених результатів досліджень з застосуванням сучасного технологічного обладнання.

Аналіз останніх досліджень. Проблематиці вибору ефективного бетоноформувального обладнання для серійного вібропресування наджорстких кольорових бетонних сумішей в процесі виробництва фігурних елементів мостіння та бордюрів присвячені публікації німецького спеціаліста Р.Реша [1], роботи польського дослідника В.Бризіцького [2] та українського науковця В.Каганова [3].

Крім того, даній тематиці було присвячена низка статей та монографій бетонознавця з США В.Рамачандрана [4] та дослідника бетонів з Нідерландів Ф.Віттімана [5].

Основний матеріал статті. Комплекс з підготовки щебенів та пісків ТМ «Мій Двір» в с.Милятичі Львівського району Львівської області передбачає глибоку переробку фракції гранітного (гравійного) щебеня 20-40 мм на наступні фракції щебенів: 5-10 мм; 2-5 мм; 0-2 мм та кам'яний пил з модулем крупності менше 0,125 мм.

Даний комплекс передбачає виготовлення фракцій щебеня з максимальним розміром зерна до 10 мм з постійним гранулометричним складом з низьким вмістом глинистих та пиловидних частинок, лещадністю до 10% з магматичних гірських порід таких, як – граніт міцністю до 80 МПа та осадових гірських порід таких, як гравій з міцністю до 40 МПа, що дає можливість створити умови для виробництва бетонних ФЕМ з високими експлуатаційними характеристиками.

Технологічна лінія по виготовленню щебенів та пісків складається з 3-х стаціонарних вібраційних грохотів марки HAVER NIAGARA №1, №2, та №3, вертикальної роторної дробарки SBM V8 та піскомийної машини марки CDE EVOWASH.

Характеристика та робоча продуктивність реверсивної роторної ударної дробарки марки SBM 10/5/4 SMR наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Назва обладнання	Марка	Кількість	Продуктивність
Реверсивна горизонтальна роторна ударна дробарка з несучою конструкцією, вхідним бункером, висипним бункером, двигун 1,30 кВт	SBM 10/5/4 SMR	1	До 150 т/год переробки щебеню фракції 20-40 мм

Після горизонтальної роторної дробарки марки SBM 10/5/4 SMR подрібнений щебінь загальної фракції від 0 до 40 мм транспортується на стаціонарний вібраційний грохот HAVER NIAGARA MTR для класифікації на окремі фракції даного щебеня.

Характеристика та робоча продуктивність стаціонарного вібраційного грохоту HAVER NIAGARA (MTR) наведена в таблиці 2.

В процесі класифікації на вібраційному грохоті HAVER NIAGARA (MTR) 1800x5500 на верхньому рівні встановлюють сито з розміром отворів 20 мм, тому матеріал з розміром зерна більше ніж 20 мм відсіюється та направляється на повторне подрібнення до дробарки марки SBM 10/5/4 SMR. На нижній деці встановлюють сито з розміром отворів 10 мм, тому матеріал з розміром зерна якого більше 10 мм (фракція 10-20 мм) після грохочення направляється на вертикальну роторну ударну дробарку марки SBM V8 для подальшого процесу подрібнення.

Характеристика та робоча продуктивність вертикальної роторної ударної дробарки марки SBM V8 представлена в таблиці 3.

Таблиця 2

Назва обладнання	Марка	Кількість	Продуктивність
Стаціонарний вібраційний грохот з несучою конструкцією, жолобом, висипним бункером, та конвеєром, двигун 18,5 кВт	HAVER NIAGARA (MTR) 1800x5500	1	До 200 т/год при межі сепарації 20 мм
			До 100 т/год при межі сепарації 10 мм

Таблиця 3

Назва обладнання	Марка	Кількість	Продуктивність
Вертикальна роторна ударна дробарка з несучою конструкцією, вхідним бункером, висипним бункером	SBM V8	1	До 85 т/год переробки щебеню фракції 10-20 мм

Матеріал з граніту фракції 0-20 мм після переробки на дробарці марки SBM V8 подається на стаціонарний вібраційний грохот HAVER NIAGARA MD для класифікації на дрібніші фракції гранітного щебеня.

Характеристика та робоча продуктивність стаціонарного вібраційного грохоту марки HAVER NIAGARA MD наведена в таблиці 4.

Таблиця 4

Назва обладнання	Марка	Кількість	Продуктивність		
Стаціонарний вібраційний грохот з несучою конструкцією, жолобом, висипним бункером, та конвеєром, двигун 11 кВт	HAVER NIAGARA (MD) 1500x4500	1	До 100 т/год при межі сепарації 10 мм		

Матеріал з розміром зерна більше 10 мм (фракція 10-20 мм) після грохочення на вібраційному грохоті HAVER NIAGARA (MD) направляється на дробарку марки SBM V8 для повторного дроблення, а матеріал, що пройшов через сито з розміром отворів 10 мм транспортується на миючий стаціонарну машину марки CDE ECO WASH 71 для промивки та подальшої класифікації (дивись таблиця 5).

Таблиця 5

Назва обладнання	Марка	К-ть	Продуктивність	Потреба води	Тиск на форсунки	Вологість матеріалу
Напівстаціонарна піскомийка машина з первинною насосною станцією, обезводнюючим грохотом, відстійником	CDE ECO WASH 71	1	До 55 т/год	До 200 м ³ /год	До 2 бар	До 15%

Матеріал подрібнення щебеня та гранітний відсів фракції 0-2 мм проходить обробку на піскомийній машині, де відокремлюється кам'яний пил, що менше 0,125 мм. На виході з піскомийної машини отримується готова для виробництва бетонних ФЕМ фракція матеріалу 0-2 мм (гранітний або гравійний), де вміст глинистих та пиловидних частинок не перевищує 1%.

В результаті переробки сипучих нерудних матеріалів на комплексі по виготовленню щебенів та пісків, що розташований на відкритому майданчику з вхідного матеріалу щебеню (гранітного або гравійного) фракції 20-40 мм для виробництва бетонних виробів ТМ «Мій Двір» в результаті отримується щебін митий фракцій 5-10 мм, 2-5 мм, 0-2 мм та пісок кварцовий митий з модулем крупності від 1,6 до 2,3.

З кожної секції витратного бункера пісок і кварцева посипка фракції 0,25-4 мм в накопичувачі через завантажувальний отвір з вібратором щебін фракції 2-5 мм скеровується в бункер скипового підйомника ТЕКА TRANSMIX 750 THZ бетонозмішувального вузла.

Постійна технологічна вологість підготовленого гранітного відсіву у $W=2,7\%$ забезпечується наявністю навісу над лінією підготовки інертних заповнювачів в зоні складу сипких матеріалів ТЕКА TRANSMIX 750 THZ.

Портландцемент марки ПЦ-500 А/Ш II доставляється на виробничу базу ТМ «Мій Двір» автоцементовозами. Зберігання цементу на технологічній лінії здійснюється в двох металевих герметичних силосах. Місткість складу

цементу – 4х100 т. Вивантаження цементу в силоси здійснюється безпосередньо з автоцементовоза пневмотранспортом. Для цього використовується вбудований компресор автоцементовоза або спеціальний компресор для перекачування цементу продуктивністю до 10 м³ повітря в годину.

Порошкоподібні пігменти групи зберігаються в критому складі ТМ «Мій Двір» в штабелях заввишки до 2,5 м в герметичних умовах при вологості W=0% і транспортуються в міру необхідності за допомогою електричного навантажувача (P=1т) для приготування водної суспензії системою сухого-вологого дозування барвника TTW 50/2хPB12 (виробництво фірми «Wurschum»).

У приміщенні цеху бетонних виробів постійно зберігається певний технологічний запас води. Для цього є система подачі води, що складається з 4-х ємкостей по 2000 л та відцентрового водяного насоса. З даних ємкостей вода під тиском до 0,6 МПа подається в дозатор води ТЕКА «TRANSMIX 750 THZ» і систему дозування барвника TTW 50/2хPB12.

Процес управління дозування компонентами бетону, а також виготовлення суміші здійснюється автоматично через комп'ютер EV-90 (фірми «Vikotronic» і контрольний процесор бетонозмішувальної установки ТЕКА «TRANSMIX 750 THZ».

Перед завантаженням в бетонозмішувач зважування інертних здійснюється в бункері скипового підйомника, що входить в комплект бетонозмішувального вузла «ТЕКА». Місткість змішувача – 750 л; готовий заміс на виході – 500 л. Межа дозування інертних 0-1500 кг.

Подача цементу в дозатор здійснюється гвинтовим конвеєром продуктивністю 20 т/год. Межі дозування цементу від 0 до 250 кг. Кожен силос оснащений своїм герметично закритим шнековим живильником.

Управління дозування води (контроль за водоцементним співвідношенням) відбувається через водомірний комп'ютер ВТ-500 («Vikotronic»). Відцентровим насосом вода подається в дозатор води, до складу якого входять: клапан грубого і точного дозування підготовлених інертних сипучих компонентів бетонної суміші.

Приготування наджорсткої бетонної суміші може здійснюватися автоматичним дозуванням декількох видів хімдобавок. Бетонозмішувач укомплектований спеціальним дозатором хімдобавок DZ12P (фірми ТЕКА). Хімічні добавки на технологію транспортують у вигляді 30% водного розчину.

При необхідності в бетонну суміш вводиться порошкоподібний пігмент через систему сухого-вологого дозування барвників TTW 50/2хPB12. Порошкоподібний пігмент зберігається в двох ємкостях по 1т. Продуктивність гвинтового конвеєра для подачі сухого пігменту 30 л/хв. Місткість бака з нержавіючої сталі для приготування фарбувальної суспензії складає 90 л. Управління процесом зважування суспензії, що готується,

здійснюється через комп'ютер ВТ-100 («Vikotronic»). Подача готової фарбувальної суспензії в бетонозмішувач здійснюється насосом SBI-A61 продуктивністю 0-70 л/хв..

Автоматизована система управління процесом приготування бетонної суміші за допомогою комп'ютера дозволяє використовувати, як автоматичний режим роботи, так і ручний. Приготована бетонна суміш подається стрічковим конвеєром з шириною стрічки 650 мм на реверсивний стрічковий конвеєр та далі у витратні бункери бетоноформувальних машин марки HB ZENITH 828 M AZ. Реверсування конвеєра дає можливість по черзі заповняти бункер, як для основного шару бетону, так і бункер для фактурного шару бетону, а також для видачі товарного бетону (при потребі).

Послідовність виконання технологічних операцій при дозуванні і перемішуванні компонентів на бетонозмішувальному комплексі ТЕКА TRANSMIX 750 THZ здійснюється відповідно спеціально розробленого алгоритму.

Технологічний процес об'ємного вібропресування виконується в автоматичному або в ручному режимі за попередньо заданою програмою. Зусилля і час пресування, інтенсивність (частоту) і час вібрації металеві пресформи на вібростолі вибирається в залежності від типу формованого виробу.

Зусилля пресування створюється гідроциліндром з сумарним тиском 15 МПа та власною масою пуансона прес-форми. Вібрація на пуансоні складає 28 kN.

Процес вібропресування здійснюється двома подвійними кроковими електроричними вібраторами із зусиллям до 40 kN і потужністю по $P=1,5$ кВт кожен на столі, що розділений на дві частини. Формування готової продукції здійснюється в мультилеєрному режимі, тобто поетапно рядами на один технологічний піддон (палету).

Штабелювання відформованих виробів на один технологічний піддон (палету) здійснюється таким чином:

-ФЕМ (h=60 мм) до 9 рядів - h штабеля = 540 мм

-ФЕМ (h=80 мм) до 7 рядів - h штабеля = 560 мм

-Бордюр газонний (h=200 мм) - 7 шт

-Бордюр газонний (h=250 мм) - 3 шт

Максимальна висота штабелю вібропресованої продукції становить до 600 мм. Вказані вище параметри задані з урахуванням вантажопідйомності ($P=1$ т) електричного вилкового навантажувача, який обслуговує даний технологічний процес.

Пост подачі технологічних піддонів в магазин палет облаштований автоматичною системою подачі їх в зону формування. На напівконвеєрі з гідравлічним приводом розміщуються 12 палет. Транспортування дерев'яних технологічних піддонів з свіжовідформованими виробами здійснюється фронтальним вилковим електричним автовантажувачем

вантажопідйомністю до 1 т. Подальший процес технологічної витримки на виробничій лінії ТМ «Мій Двір» в с. Милятичі Львівського району Львівської області виконується за наступним регламентом.

Початкова міцність бетонних виробів досягається їх витримкою у двох зонах: зоні вологих умов і при нормальному твердненні бетону готової продукції. Після виготовлення технологічні палети з готовою продукцією перевозять електронавантажувачем в зону вологої витримки виробів. Продукція знаходиться у стелажах багатосекційної камери з температурою всередині до 40⁰С і вологими умовами, які утворюються при твердінні бетону в замкнутому просторі з постійною циркуляцією повітря цілому об'єму камери. Кожна секція камери вологої витримки готової продукції обслуговується електронавантажувачем в процесі завантаження і вивантаження. Стелажі герметизуються за допомогою поліетиленової плівки, а процес аерації теплого повітря даний процес здійснюється за допомогою вентилятора з спеціальним наддувом.

Підігрів теплоносія (повітря) для камери дозрівання бетону здійснюється в нагрівачі повітря Bullerjan типу 04, що працює на твердому паливі (дрова, деревні відходи, торф, брикети, низькокалорійне паливо) за принципом газогенератора. Потужність одного агрегату 35 кВт для опалювання 1000 м³ об'єму повітря. Агрегат встановлюється в приміщенні під ємностями з водою, і біля якого встановлюється контейнер для зберігання твердого палива.

Піддони з готовою продукцією знаходяться у вологих умовах 94% при температурі +20⁰С не менше 24 годин.

За допомогою електронавантажувача готова продукція на палетах транспортується в зону, де відбувається витримка виробів в нормальних умовах до 70% проектною міцності бетону. Догляд за бетоном на даній стадії витримки передбачає процес поливання продукції водою вручну за допомогою шланга для забезпечення умов твердіння при нормальній вологості.

Процес упакування та зберігання здійснюється на ТМ «Мій Двір» в наступний спосіб: після набору 50% проектною відпускнуою міцності бетону готової продукції здійснюється процес пакування штабелю з виробами і механізоване перекладання їх з технологічних палет на євро піддони. Процес пакування здійснюється за допомогою знімного пристосування, яке встановлюється на фронтальному дизельному навантажувачі вантажопідйомністю 3 т.

Послідовність технологічних операцій при упакуванні готової продукції і підготовці до упакування виконуються відповідно до «Інструкції по технічній експлуатації упакувальника».

Штабель з готовою продукцією переставляється з технологічної палети на транспортний піддон. Технологічні палети після очищення і підготовки

електронавантажувачем транспортуються для наступного циклу формування готової продукції.

Наведений в статті розгалужений технологічний процес вібропресування наджорстких бетонних сумішей на виробничих потужностях ТМ «Мій Двір» в місті Львові створювався не один рік та зараз підготовлена інфраструктура, яка включає лінію підготовки інертних матеріалів (подрібнення, грохочення, фракціонування, промивку), транспортування, проміжне складування і, безпосередньо, процес переміщування бетонних сумішей з водоцементним співвідношенням (В/Ц) від 0,35 до 0,36. Отримані в бетонозмішувальному вузлі ТЕКА «TRANSMIX 750 THZ» бетонні наджорсткі суміші для основного та фактурного (кольорового) шарів фігурних елементів мостіння і каменів бортових бетонних направляються на сучасні бетоноформувальні комплекси НВ ZENITH 828 MAZ, де виготовляється високоякісна готова продукція із задалегідь заданими фізико-технічними характеристиками.

Висновки та рекомендації. Представлений в даній публікації алгоритм організації процесу вібропресування наджорстких бетонних сумішей в заводських реаліях з використанням комплексу технологічного обладнання створює оптимальні умови для отримання високоякісною бетонної продукції з підвищеною архітектурною виразністю та високими експлуатаційними властивостями. Наведений досвід виробництва наджорстких бетонних сумішей на технологічних потужностях ТМ «Мій Двір» свідчить про ефективність проведених інвестицій та капітальних вкладень в процесі підготовки інертних матеріалів при вібропресуванні бетонних виробів, що забезпечує високу якість готової продукції для влаштування сучасних дрібноштучних тротуарно-дорожніх покриттів.

1. Реш Рафаель “Hess-Group” Новинки на Вауте. Бетон и железобетон: Оборудование. Материалы. Технологии: ежегодный сборник, Санкт-Петербург, 2010, с. 42-49.

Resh Rafael “Hess-Group” Novynky na Vaute. Beton y zhelezobeton: Oborudovanye. Materyaly. Tekhnolohyy: ezhehodnyi sbornyk, Sank-Peterbur, 2010, s. 42-49.

2. Brylicki W. Kostka brukowa z betonu wibropresowanego, Polski cement, Krakow, 1988.

3. Каганов В.О. Тенденції процесу впровадження сучасних технологій вібропресування наджорстких та жорстких бетонних сумішей в індустріальному виробництві України. Вісник НУВГіП, випуск 2(98), 2022, с. 49-58.

Kahanov V.O. Tendentsii protsesu vprovadzhennia suchasnykh tekhnolohii vibropresuvannia nadzhorstkykh ta zhorstkykh betonnykh sumishei v industrialnomu vyrobnytstvi Ukrainy. Visnyk NUVHiP, vypusk 2(98), 2022, s. 49-58.

4. Ramachandran V.S., Concrete Admix Tures Handbook, Noyes Publication Park Ridge, New Jersey, 1982. 5. Wittmann F.H. Structure and Fracture Mechanics of Composite Materials, Fracture Toughness and Fracture Energy, Balkema, Rotterdam, 1989,