

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО
ВИРОБНИЦТВА

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної атестаційної роботи бакалавра

зі спеціальності 136 – Metallургія

**Розробка проекту цеху чавунного лиття потужністю 2000 тон виливків на рік
з розвісом до 15 кг з сучасним обладнанням «чорного цеху» лиття за
газифікованими моделями**

Виконав:

Студент групи МТ 20-1 _____Микита МІШИН

Керівник кваліфікаційної роботи _____Ігор СКІДІН

Нормоконтролер _____Ігор СКІДІН

Завідувач кафедри _____Сергій САВЕЛЬЄВ

Кривий Ріг

2024 р.

ВСТУП

Металургійне виробництво в Україні є однією з ключових галузей економіки, відіграючи важливу роль у внутрішньому розвитку та забезпеченні значного експортного потенціалу. Україна традиційно належить до світових лідерів у виробництві сталі та чорних металів, займаючи високі позиції у світовому рейтингу. Країна володіє значними запасами залізної руди, особливо у Криворізькому басейні, що є надійною базою для розвитку металургії.

Великі металургійні підприємства сконцентровані у східній частині України, зокрема в таких містах, як Дніпро, Запоріжжя, та Маріуполь. Галузь виробляє широкий спектр продукції, включаючи сталь, чавун, феросплави та різні види металургійного прокату. Незважаючи на застосування деяких застарілих технологій, існує тенденція до модернізації та оновлення обладнання, що спрямована на підвищення якості продукції і зменшення впливу на довкілля.

Україна активно експортує металургійну продукцію, націлюючись на ринки Європейського Союзу, Близького Сходу та Північної Африки. Водночас, галузь стикається з рядом викликів, включаючи політичну нестабільність та економічні коливання.

Необхідність вивчення основ проектування металургійних об'єктів викликана як змінами, так і новизною самого підходу до проектування окремих установок і споруд; діляниць, відділень, цехів, виробництв, обумовленого оригінальними вимогами, ухвалення інвестиційного рішення в умовах ринку, сполученого в часі та узгодженого з адміністративно-наглядовими та іншими учасниками інвестиційного процесу.

Інтеграція системи проектування у світову систему передбачає поєднання традиційного підходу до проектування з новими поглядами на такі системи, як металургійний комплекс загалом. Це не скасовує деякої стадійності: необхідності появи інвестиційного задуму і документального його оформлення, виконання техніко-економічних та інших обґрунтувань будівництва нового об'єкта або модернізації наявних; розроблення документації, що деталізує фтехнічні рішення до встановлення конкретної одиниці устаткування та прив'язки його до забезпечувальних мереж.

З поліпшенням зовнішнього вигляду, а отже, з підвищенням конкурентоспроможності виробів підвищилися вимоги до якості поверхні та зовнішнього вигляду виливків.

Незаперечно, час диктує впровадженням ливарного устаткування економічного, безпечного, екологічного, що не потребують великі ресурси, зменшенням числа працюючих.

Майбутнє металургійного сектора в Україні залежить від його здатності адаптуватися до світових трендів, таких як екологічна сталість та впровадження новітніх технологій.

1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ ЗА ГАЗИФІКОВАНИМИ МОДЕЛЯМИ

Лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), є одним із новітніх способів виробництва виливків, які з'явилися в результаті науково-технічної революції в другій половині ХХ ст. поряд із такими технологічними процесами, як вакуум-плівкове формування, безперервне лиття, лиття під низьким тиском, імпульсне формування та ін. Однак найбільший інтерес у ливарників викликало повідомлення про спосіб лиття за моделями, які не видаляються з форми, а залишаються в ній і газифікуються під дією теплової енергії металу, що заливається у форму. Така технологія, названа литтям за моделями, що газифікуються, розв'язувала найважливіше завдання ливарного виробництва - підвищення точності виливків до рівня лиття за виплавленими моделями за витрат виробництва лиття в піщано-глинисті форми.

Перш ніж ЛГМ-процес став промисловою технологією, був пророблений значний обсяг науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, унаслідок яких було створено спеціальні модельні матеріали та протипригарні покриття, технологію та обладнання для виготовлення моделей, інженерну методику проектування технологічного процесу, обладнання для виготовлення форм тощо.

Основоположником ЛГМ був американський архітектор Г. Шроєр, який 1956 року застосував моделі з пінополістиролу для отримання художнього відливання. У 1958 р. він отримав патент США на спосіб Cavityls Castings Mold and Method for Making Same. Того ж року архітектор А. Дука в лабораторії Массачусетського технологічного інституту отримав перший художній виливок із бронзи скульптури "Пегас" масою 150 кг. У 1961 р. англійський архітектор Кларк застосував цей спосіб для отримання виливки чавунної щогли масою 3500 кг для дзвона. Однак промислове застосування ЛГМ-процесу почалося тільки через чотири роки після його винаходу [1,2].

1.1 Періоди розвитку ЛГМ-процесу

У розвитку ЛГМ-процесу можна умовно виділити чотири періоди. **Перший період** охоплює 1958-1970 рр. і характеризується впровадженням цієї технології для виробництва одиничних виливків масою від кількох кілограмів до більше. Перше промислове відливання масою 12 т було отримано в Німеччині в 1962 р. За рік для фірми "Ford Motors Co" було відлито дві заготовки для штампів масою 6750 і 2700 кг. До кінця 1964 р. у 10 ливарних цехах різних фірм США застосовували ЛГМ-процес для виробництва одиничних виливків [3]. Активні роботи з упровадження ЛГМ проводилися у ФРН групою фахівців, очолюваною проф. А. Вітмозером, яка в 1958 р. придбала права на патент Шроєра. У 1965 р. у таких промислово розвинених країнах, як США, Англія, ФРН, Франція і Японія, було вироблено понад 40 тис. т виливків, причому тільки в США цей спосіб лиття для виробництва

виливків із чорних сплавів застосовували 35 ливарних цехів [4]. У 1963 р. на Міжнародній виставці в Дюссельдорфі експонати з ЛГМ-процесу були широко представлені різними фірмами. У 1967 р. створюється Міжнародна асоціація лиття за моделями, що газифікуються, яка об'єднала 150 фірм із загальним випуском виливків 800 т на добу. Швидке поширення ЛГМ для виробництва одиничних виливків із чорних сплавів стало можливим завдяки явним перевагам цього способу порівняно з литтям за моделями, що витягуються.

Поряд із розширенням виробництва одиничних виливків багато наукових центрів різних фірм проводили інтенсивні роботи із застосування ЛГМ у серійному виробництві, чому сприяло опублікування в 1960 р. патенту Х. Нелліна про застосування піску без сполучної речовини для виготовлення форми [6]. За цим патентом модель із пінополістиролу поміщають у контейнер, засипають сухим піском або іншим сипучим вогнетривким матеріалом, і форму ущільнюють вібрацією, після чого заливають металом. Однак застосування цього способу для отримання виливків складної конфігурації призводило до браку через обвал форми. Тому дослідження були спрямовані на вишукування способу зміцнення форми з нез'язаних сипучих матеріалів. Так, у 1966 р. було опубліковано патент Гофмана на спосіб отримання виливків за моделями, що газифікуються, в магнітній формі [7]. На 35-му Всесвітньому конгресі ливарників проф. А. Вітмозер вперше зробив доповідь про магнітне формування. При цьому способі виготовлення форми застосовується металевий феромагнітний пісок або дріб розміром 0,3-0,5 мм. Після ущільнення форми вібрацією її поміщають у постійне магнітне поле, яке забезпечує магнітний зв'язок між частинками наповнювача, що надає формі необхідної міцності, запобігаючи її руйнуванню під час заливання металу. Магнітне формування набуло застосування в США, Японії та в країнах Західної Європи для виробництва серійних виливків із різних сплавів. У 1970 р. у різних країнах працювало понад 10 напівавтоматичних установок магнітного формування. Швейцарська фірма "Brown Boveri" організувала серійне виробництво напівавтоматичних установок магнітного формування. У Бельгії одна з фірм застосовувала магнітне формування для відливання сталевого ланцюга з 40 тис. ланок, в Англії інша фірма одержувала гальмівні колодки для залізничного транспорту, у ФРН магнітне формування виготовляло трійники з сірого чавуну масою до 20 кг і муфти з високоміцного чавуну, у Нідерландах - складні тонкостінні відливки з чавуну [8]. В Японії працювала лінія магнітного формування продуктивністю 20 форм на годину за металоємності однієї форми до 70 кг [9]. Однак магнітне формування не набуло належного застосування, оскільки використання дорогого металевого піску (дробу) зводило нанівець економічні переваги ЛГМ щодо традиційних способів лиття, хоча й забезпечувало вищу якість виливків. Цьому сприяла і поява в 1968 р. патенту на спосіб одержання виливків за моделями, що газифікуються, у формах із піску із застосуванням вакууму [10]. Згідно з патентом, для формування використовується спеціальний контейнер, обладнаний системою вакуумування. Модель, що газифікується,

заформовується в кварцовому піску, який ущільнюється вібрацією. Зверху на форму накладається поліетиленова плівка, після чого форма вакуумується і заливається металом. Вважається, що вакуум оберігає форму від руйнування під час її заливки розплавом.

Другий період розвитку ЛГМ припав на 1970-ті рр. і характеризується нагромадженням досвіду виготовлення складних виливків, технологічною і технічною підготовкою їх серійного виробництва. Створюються регіональні науково-виробничі об'єднання і дослідницькі центри у складі промислових фірм і в технологічних інститутах, які проводять роботи з удосконалення технології ЛГМ і надання допомоги підприємствам у впровадженні цієї технології для серійного виробництва виливків з різних сплавів замість традиційних способів лиття. Так, у 1970 р. Товариство лиття за моделями, що газифікуються, і фірми "Correcto Werke", "Grunweid and Hartman", а також "Група магнітного формування" (А. Вітмозер і Р. Гофман) підписали угоду про організацію нового об'єднання під скороченою назвою "VV". Це об'єднання володіло правами на 100 патентів і патентних заявок щодо ЛГМ у європейських країнах. Воно обслуговувало близько 50 європейських фірм, надавало їм допомогу в удосконаленні та впровадженні ЛГМ.

До кінця 1970-х рр. уже більш ніж у 70 ливарних цехах різних фірм технологія ЛГМ перебувала на стадії впровадження або здійснювали випуск серійних виливків у промислових масштабах [12]. Накопичений за це десятиліття науковий і практичний досвід застосування ЛГМ для одержання виливків із чорних і кольорових сплавів став основою для впровадження цієї технології в серійному виробництві широкої номенклатури виливків у різних галузях машинобудування в 1980-ті рр., що визначають *третій період* у розвитку ЛГМ-процесу. Найбільших успіхів у впровадженні ЛГМ було досягнуто автомобільними фірмами.

Фірма "Ford Motors" у 1980 р. освоїла промислову установку для виробництва виливків впускного колектора з алюмінієвого сплаву і випустила 25 000 колекторів високої якості. У 1984 р. у цьому ж цеху було встановлено другу напівавтоматичну лінію продуктивністю 180 форм на годину, на якій виробництво колекторів довели до 3 млн на рік, при цьому максимальний брак литва становив близько 5 %. На старій установці було освоєно виробництво виливків із чавуну: корпус водяного насоса, гальмівний диск, вихлопний колектор, порожнистий колінвал. Цей цех мав виробничу площу 2700 м² і був на той час найбільшим ливарним цехом із виробництва виливків ЛГМ [13].

Фірма "General Motors" у 1982 р. на підприємстві "Сатурн" встановила автоматичну лінію виробництва ЛГМ голівки і блока циліндрів з алюмінієвого сплаву для дизельного двигуна в кількості 1000 виливків на добу за тримісної роботи. Нині в цеху працюють дві автоматичні лінії. На другій лінії отримують виливки з чавуну: колінвал, корпус диференціала, впускний колектор тощо. У цеху автоматизовано всі технологічні операції, за винятком заливки форм металом. Відзначається висока якість виливків, які за точністю відповідають литтю під тиском, а за якістю поверхні - литтю в кокіль. Фірма успішно вирішила екологічну проблему. Під час вакуумування форм під час заливки їх

металом продукти термодеструкції моделі надходять в установку каталітичного допалювання газів до вуглекислого газу і парів води. У цеху працює 180 осіб (по 60 у кожній зміні). Цех розташований під одним дахом з механічним цехом, що свідчить про екологічну чистоту виробництва виливків ЛГМ [14].

Фірма "Robert's Co" виготовила й освоїла шестипозиційну установку продуктивністю 180 форм на годину. Модельні блоки подаються монорейкою і маніпулятором встановлюються в опоку-контейнер, який засипається сухим кварцовим піском за допомогою телескопічної труби-дозатора. Форма ущільнюється вібрацією з регульованим напрямком і величиною амплітуди. Після заливки форми і вилучення виливки з неї пісок надходить в установку киплячого шару, в якій він знепилюється, а продукти термодеструкції, що містяться в ньому, допалюються. Після охолодження пісок знову надходить на формування [15]. Ця ж фірма уклала угоду з фірмою "Badine Aluminum" про створення спільного підприємства з виробництва виливків з алюмінієвих сплавів.

На думку американських фахівців, ЛГМ-процес є одним із найкращих сучасних способів лиття, що може задовольнити потреби великосерійного виробництва виливків високої точності. У поєднанні з системою автоматичного управління на базі мікропроцесорної техніки та роботів застосування цього способу лиття дасть змогу створити гнучке виробництво виливків. Таке положення ґрунтується на єдиній опоці, в якій використовується весь її об'єм, на відміну від роз'ємної форми, єдиному формувальному матеріалі - піску, простоті формування, необмеженому терміні зберігання моделей і недорогій оснастці [15].

У 1990-ті рр. ЛГМ знаходить широке застосування в Японії, Кореї та Китаї. В Японії близько 200 фірм використовують ЛГМ для виробництва виливків з різних сплавів.

Фірма "Morikawa Sandino" в найкоротший термін здобула репутацію лідера у виробництві виливків ЛГМ і стала провідною фірмою в розробці технології та обладнання для цього способу виробництва виливків. У 1984 р. вона почала проводити дослідження цього процесу, а вже в 1985 р. почала виробляти в промисловому масштабі втулки підшипника для двигуна "Honda", гільзи циліндрів із фос-форванадієвого чавуну, коробку диференціала з високоміцного чавуну, впускні колектори з алюмінієвого сплаву [16]. У КНР створено спеціалізоване підприємство з виробництва виливків сполучних деталей трубопроводу [17].

Фірма "Dong Kik" (Корея) освоїла виробництво фітингів із високоміцного чавуну за моделями, що газифікуються. У 1988 р. у промислово розвинених країнах виробництво виливків ЛГМ здійснювалося більш ніж у 100 ливарних цехах із місячним випуском 400 т чавунного і 2000 т алюмінієвого лиття. Ще в 100 ливарних цехах велися дослідно-промислові роботи з освоєння виробництва виливків з різних сплавів [18]. В Англії наприкінці 1980-х рр. було здано в експлуатацію шість дослідно-промислових установок для виготовлення виливків цим способом. За даними зарубіжних

фахівців, кількість цехів, що працюють за технологією ЛГМ, у найближчі кілька років буде щорічно подвоюватися [18].

Розширенню обсягів виробництва виливків ЛГМ у різних країнах сприяло подальше вдосконалення технології та обладнання. Так, фірми "Castek" (Англія) і "Teksid" (Італія) розробили технологічний процес під фірмовою назвою Policast, що охоплює технологію виготовлення моделей, складання модельних блоків, їхнє забарвлення і формування, заливку форми металом. Фірми "FATA" і "Fiat Teksid" побудували в Італії два цехи для виробництва колекторів автомобільних двигунів за Policast-процесу. В одному цеху випускають вихлопні колектори із сірого чавуну на автоматичній лінії продуктивністю 40 форм на годину, причому у формі одночасно відливають 8 колекторів. В іншому цеху на автоматичній лінії продуктивністю 50 форм на годину відливають впускні колектори з алюмінієвого сплаву.

Асоціація "SCRATA" (Steel Casting Users and Trade Association) розробила технологічний процес ЛГМ під фірмовою назвою Replicast у двох варіантах. При Replicast-FM модель з пінополістиролу з ливниковою системою встановлюється в контейнер і засипається сухим піском, який потім ущільнюється вібрацією. Верх контейнера закривається поліетиленовою плівкою, і у формі створюється вакуум близько 0,04-0,05 МПа, після чого форма заливається металом. Така технологія ЛГМ дає змогу отримувати виливки у формі з піску масою до 2 т, що значно розширює сферу застосування ЛГМ-процесу. Спосіб Replicast-CS (Shell moulding refractory) розроблено для виробництва виливків із високоякісних маловуглецевих сталей та інших сплавів, які чутливі до продуктів термодеструкції пінополістиролу. За цим способом на модель з пінополістиролу підвищеної щільності (40-50 кг/м³) наноситься керамічна оболонка з 4-5 шарів, як під час лиття за виплавлюваними моделями. Товщина оболонки становить 3,2-4,7 мм. Потім отримана керамічна форма поміщається в піч, де за температури 9300 °С відбувається спікання оболонки і вигорання моделі. Отриману керамічну оболонку поміщають у контейнер, засипають кварцовим піском, який ущільнюють у контейнері вібрацією, потім отриману форму накривають поліетиленовою плівкою, і перед заливанням форми металом у ній створюють вакуум близько 0,04-0,05 МПа. Така технологія дає змогу отримувати точні та якісні виливки з низьковуглецевих марок сталі без поверхневого та об'ємного науглецювання. Асоціація "SCRATA" передала всі права на продаж ліцензії за Replicas t-процесом фірмі "Foseco International", яка за короткий час реалізувала 13 ліцензій. Фірма "Glencast Ltd" за ліцензією фірми "Foseco" виробляє до 90 % заготовок штампів. Аналогічні виливки даним способом отримує фірма "Haffer-sley Neuman Hender" [20].

Фірма "Bradey and Foster" (Англія) на лінії продуктивністю 6 форм на годину отримує литтям за моделями, що газифікуються, у вакуумовані форми з піску великі виливки з жаро- і зносостійких чавунів. Це дало їй змогу повністю відмовитися від стрижнів, а в низці випадків і від механічного оброблення, при цьому трудовитрати на очищення виливків скоротилися на 29

%, на формування - на 28 %, на механічне оброблення - на 9 %. Точність виливків зростає на 13 % [20].

Фірма "Wolverhampton Iron Founders" виробляє виливки ЛГМ масою від 0,22 до 70 кг. Моделі з пінополістиролу поставляє фірма "Fosoco". На моделі наноситься протипригарне покриття, і потім з ливниковою системою їх встановлюють у контейнер місткістю 1м³, в якому заформовують сухим піском.

Формування, заливка форми металом, охолодження виливки у формі та її вибивання здійснюються на горизонтально замкнутому конвеєрі. На позиціях заливки та охолодження форми вакуумуються. Цикл виготовлення однієї форми становить 7 хв. Застосування ЛГМ дало змогу в 3 рази підвищити точність виливків і на 40% скоротити трудомісткість фінішних операцій. Фірма освоїла виробництво виливків з високоміцного чавуну і легованої сталі [20].

За останні 40 років на основі застосування газифікованої моделі було розроблено технологічні процеси, які зумовили широке впровадження ЛГМ у промисловість.

1.2 Сучасний стан розвитку технології виробництва металевих виливків за газифікованими моделями

Сучасний технологічний рівень масового ливарного виробництва висуває дедалі вищі вимоги до якості виливків, їх складності, виходу придатного тощо.

У цих умовах одним із найперспективніших напрямів є впровадження на наявних ливарних виробництвах технології лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ).

Технологія виготовлення лиття за моделями, що газифікуються, має низку істотних переваг перед іншими способами, які є традиційними для ливарних виробництв в Україні та за кордоном.

Зокрема, ця технологія дає змогу одержувати виливки вагою від 10 гр до 300 кг із чистотою поверхні Rz40, з ваговою і розмірною точністю до 7 класу за ГОСТ 26645-85.

Можна працювати практично з усіма наявними марками чавунів, починаючи від СЧ15 до ВЧ50 і зносостійких марок, застосовувати практичні будь-які сталі, від ординарних вуглецевих (Ст. 20-45), до прецизійних високолегованих, теплостійких і жароміцних сплавів, працювати з усіма марками ливарних бронз, латуні і сплавів на основі алюмінію.

Основним принципом ЛГМ є заливка розплаву чавуну, сталі або кольорового сплаву в опоку, що перебуває під зниженим тиском, усередині якої в щільній піщаній суміші розміщена пінополістирольна випалювальна модель, що випалюється.

Переваги лиття за моделями, що газифікуються:

— знизити витрати на витратні матеріали в 3-5 разів;

- скоротити трудовитрати в 2-4 рази;
 - знизити витрату електроенергії у 2-3 рази;
 - у рази знизити відсоток браку і збільшити вихід придатного;
 - знизити потреби в цехових площах;
 - забезпечити максимальну безвідходність;
- поліпшити умови праці персоналу і багато іншого.

Розвиток реального виробництва за скорочення часових і матеріальних витрат прагне до наукомістких технологій з випуску виробів з високою доданою вартістю, оскільки саме вони найбільшою мірою використовують "людський капітал" і дають змогу зберегти природні ресурси. Промисловці мало знають про одну із сучасних технологій отримання металевих виливків - лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ). За цією технологією спеціалізується компанія, яка постачає обладнання і займається організацією та реконструкцією ливарних цехів.

Ливарні цехи зазвичай відносять до машинобудівних виробництв, які найбільше забруднюють екологію. Понад 75% виливків металевих деталей отримують у піщані форми, які за традиційних технологій дають основні виділення газів, що забруднюють атмосферу цеху і в основному складаються з продуктів випаровування і горіння сполучних матеріалів формувального піску. За технологією ЛГМ, англійська назва Lost Foam Casting Process, моделі виготовляють з пінополістиролу (рідше з інших пінопластів) і поміщають у форми з сухого піску без сполучного. За 50 років з часу свого виникнення річний обсяг випуску виливків у світі цим способом сягнув 1,5 млн. тонн.

Ринкові відносини жорсткої конкуренції в ливарному бізнесі зі швидким оновленням продукції замість масового виробництва спричиняють попит на дрібні та середні серії виливків із підвищеною розмірно-ваговою точністю. Розвиток ливарного виробництва здебільшого супроводжується створенням самостійних дрібних цехів з гнучкими технологіями отримання виливків високої точності та складності, коли метод ЛГМ виявився найбільш підходящим замість лиття в піщано-глиняні форми, за моделями, що виплавляються, в металеві форми або інших способів.

У цьому способі лиття отримати модель виливки означає вже наполовину отримати саму виливку з металу. Пінопластова модель виливки на вигляд схожа на упаковку від телевізора, або разову харчову тарілку, які штампують мільйонами на автоматах, а плитами полістиролу утеплюють зовнішні стіни висотних будинків. За схожою технологією для серії виливків моделі виготовляють із порошку полістиролу в легких алюмінієвих прес-формах за їхнього нагрівання до 130° С. Для разових і великих виливків (іноді вагою до кількох тонн) підходить вирізання моделей з плит пінопласту, а також вирізання на гравіювально-фрезерних верстатах з ЧПУ, велика кількість модифікацій яких з'явилася за доступною ціною на ринку останнім часом.

Модель і отриманий за нею виливок мають високу точність і конкурентний товарний вигляд, чому сприяє забарвлення моделі швидковисихаючою фарбою з порошком-вогнетривким.

Вільно можна бачити виливок у моделі, проміряти його стінки, чого під час звичайного формування для складних з кількома стрижнями виливків просто не зробити. Відсутній зсув стрижнів і форм під час складання (оскільки відсутні самі стрижні). Зазвичай ливарники не звикли до таких можливостей технології ЛГМ і якості лиття, стереотипи, завчені ще в інститутах, гальмують розуміння потенціалу цієї технології. По суті, роз'ємна ливарна форма нібито "зникла" в її традиційному розумінні, її замінила ливарна форма у вигляді засипання моделі сухим піском у ящику (контейнері). Під час заливання цієї форми метал випаровує модель і собою її заміщає.

Екологічна безпека технологічного процесу забезпечується виключенням із застосування токсичних сполучних, великого обсягу формувальних і стрижневих піщаних сумішей (зазвичай 2 т суміші зі сполучною йде у відвал на 1 т литва), транспортування їх і вибивання виливків. Наприклад, 1 куб. м пінополістиролу моделі важить 25 кг, якщо він заміщається 7 т рідкого чавуну, то при цьому на 1 т лиття витрачається $25/7=3,6$ кг полімеру. Тоді як у формах зі смоляних холодно-тверднучих сумішей (ХТС) за споживання 3% сполучного в суміші на 3 т суміші на 1 т лиття витрата становить $0,03 \times 3000 = 90$ кг полімерного сполучного, або в $90/3,6=25$ разів більше. Щоб пінопластова модель не диміла в цех, під час заливки металу у форму і в період його затвердіння з контейнера відсмоктують насосом усі гази - розрідження підтримують приблизно пів-атмосфери. Потім ці гази через трубу вакуумної системи подають для знешкодження в систему термokatалітичного допалювання, де вони окислюються до рівня не менше 98% і у вигляді водяної пари та двоокису вуглецю викидаються в атмосферу за межами приміщення цеху. Традиційні форми після заливки металом димлять у приміщенні як не вентиляцій робочу зону цеху.

Таке видалення газів із сухого піску форми згідно з проведеними вимірюваннями концентрацій домішок у повітрі цеху в 10-12 разів знижує показники забруднень атмосфери робочої зони цеху порівняно з литтям у традиційні піщані форми. Формувальний кварцовий пісок після вилучення з форми виливків, завдяки його високій плинності, зазвичай транспортують по закритій системі трубопроводів пневмотранспорту, що виключає запилення його в повітрі цеху. Пісок надходить в установку терморегенерації, де звільняється від залишків конденсованих продуктів деструкції пінополістиролу, а потім після охолодження в прохідних закритих охолоджувачах подається знову на формування при використанні близько 97% оборотного піску.

Значну частину бункерів, трубопроводів і обладнання комплексу з охолодження та складування оборотного піску зазвичай монтують за межами приміщення цеху біля зовнішньої його стіни, при цьому сухий пісок, який не боїться морозу, швидше охолоджується на відкритому повітрі. Ізолювання в закритих трубопроводах потоку піску, відсмоктування з форми і подальше

допалювання газів у поєднанні з вельми чистим модельним виробництвом дає можливість створити екологічно чисті цехи високої культури виробництва. На фотографіях модельного цеху видно, що він схожий на консервний або фармацевтичний завод, формувальна ділянка на фото теж мало схожа на "ливарку як маленьку шахту".

Технологічні потоки і просторове розміщення моделей в об'ємі контейнерної форми зручно комп'ютеризувати, а під час виготовлення модельного оснащення дедалі частіше застосовують 3D-графіку для програмування верстатів із ЧПУ. Зростаючий потік патентної інформації свідчить про серйозний інтерес до цієї технології практично всіх провідних машинобудівних компаній. Створені, проєктуються і впроваджуються у виробництво десятки видів конвеєрних, оснащених маніпуляторами і ліній безперервної дії, які добре зарекомендували себе в автотракторному моторобудуванні, литті трубоарматури і деталей насосів, корпусів електродвигунів, деталей комунального машинобудування та ін.

Однак, частіше створюються невеликі виробничі цехи, що складаються з модельної, формувальної, плавильної та очисної дільниць. Вони оснащуються простим обладнанням однаковим для чорних і кольорових сплавів.

Якщо виготовлення форм полягає в засипанні моделей сухим піском з вібрацією протягом близько 1-1,5 хвилини, то відпадає потреба у високоточних формувальних машинах пресування, струшування, пристроях складання форм. Акцент уваги перенесено на виробництво моделей - цих "найлегших іграшок" зі щільністю матеріалу 15-16 кг/куб. м.

Для серійного виробництва виливків поставляються напівавтомати, цикл виробництва пінопластових моделей на яких становить близько 2,5 ... 3 хв. і які "взяті" з пакувальної галузі, де їх використовують для виробництва фасонного пакування, легкої тари, а також декоративних панелей і елементів фасаду.

Способом ЛГМ отримують виливки з чавуну і сталі всіх видів, бронзи, латуні та алюмінію всіх ливарних марок. У ящику на "ялинці або кущі" можуть одразу лити десятки виливків, як у ювелірному виробництві, зазвичай з майже "ювелірною" точністю. До 90% виливків можна застосовувати без механічної обробки.

Цехи та ділянки з цією гнучкою технологією стрімко множаться по всьому світу - від Америки до Китаю, на заводах General Motors, Ford Motors, Fiat. Компанія, удосконалюючи в цій справі "фірмову" спеціалізацію, спроектувала обладнання та запустила цілу низку ливарних заводів, цехів, дільниць у країнах ближнього й далекого зарубіжжя.

У ливарному виробництві компанії в Києві ллють чорні та кольорові метали вагою 0,1-2 500 кг. до 150 т/місяць, відпрацьовують технологію і оснащення для нових цехів, проєктують обладнання та лінії точно під програму і площі цеху-замовника, які потім постачають ливарним підприємствам під ключ. Виконується пуско-наладка всього комплексу поставленого обладнання та впровадження технології в цьому цеху. Особливо

велика економія виходить під час лиття складних виливків зі зносостійких сталей (шнеки для машин виробництва цегли, біла, молотки і деталі дробарок), тому що різко знижуються витрати на їх механообробку. Ллють без обмежень за конфігурацією конструкцій колеса, зірочки, корпуси, сантехніку, головки і блоки циліндрів бензинових і дизельних двигунів, художнє лиття тощо. Капітальні витрати на організацію виробництва скорочуються в 2-2,5 рази, так само як і терміни введення його в експлуатацію. Легко розмістити такі ділянки при кузнях, термічних, ремонтних та інших цехах.

Виробничий потенціал технології ЛГМ далеко не вичерпаний і настільки значний, що вона дає змогу лити не тільки метали і сплави, а й отримувати композити і армовані конструкції, які мають підвищені в кілька разів службові властивості. При цьому в модель попередньо вставляють різні деталі або матеріали, які формують композит або армовану конструкцію, а накладення газового тиску на рідкий метал збільшує стабільність просочення таких виробів зі вставками на довжину понад 1 м.

ЛГМ-процес відносять до технологій майбутнього з огляду на його екологічність, високі точність одержуваних виливків і ступінь оборотного використання формувального піску. Для підприємців, які планують створити або реконструювати ливарний цех, технологія ЛГМ послужить тим бізнесом, у якому метал своїм обладнанням і робочою силою перетворюється на високотехнологічний товар. Якість продукції та підвищення культури виробництва заслужено відносять спосіб ЛГМ до високих ливарних технологій, які ламають стереотип, що високі технології - це обов'язково складні малодоступні виробництва. У таблиці 1 наведені методи та області застосування ЛГМ.

Таблиця 1.2.1 Перелік різних способів лиття за моделями, що газифікуються

Методи ЛГМ	Область застосування
Лиття за газифікованими моделями (ЛГМ)	Узагальнена назва всіх способів лиття за моделями, що газифікуються
ЛГМ у формах із сухого піску без сполучних компонентів	Поодинокі, серійне і багатосерійне виробництво виливків із СЧ, ВЧ, КЧ і сталі, мідних і алюмінієвих сплавів за маси виливків до 50 кг
ЛГМ у формах із піщано-глинистої формувальної суміші	Одиничне виробництво виливків із чорних і кольорових металів масою до 500 кг
ЛГМ у формах із рідких самотверднучих сумішей	Одиничне виробництво виливків із чорних металів масою до 5000 т
ЛГМ у формах із холоднотверднучих формувальних сумішей	Одиничне виробництво виливків із чорних металів масою до 30 т

ЛГМ у формах із феромагнітних сипучих матеріалів у магнітному полі, магнітне формування	Серійне та великосерійне виробництво виливків із чорних і кольорових сплавів масою до 50 кг
ЛГМ у формах із піску із застосуванням вакууму	Поодинокі, серійне і масове виробництво виливків із чорних і кольорових сплавів масою по чавуну до 2000 кг
<i>ГАМОЛИВ-процес</i> - фірмова назва ЛГМ у формах із піску із застосуванням вакууму	Виробництво серійних виливків із чавуну масою до 2000 кг
<i>ГАМОДАР-процес</i> - фірмова назва ЛГМ у формах із піску із застосуванням вакууму і регульованого тиску під час заливання металу	У серійному виробництві виливків із чорних і кольорових сплавів масою по чавуну до 20 кг
<i>Policast</i> - фірмова назва ЛГМ-процесу, за якого моделі збираються в куц на стояку	Серійне та великосерійне виробництво виливків переважно з алюмінієвих сплавів
<i>Replicast-FM</i> - фірмова назва виробництва виливків у формах із піску із застосуванням вакууму	Серійне та великосерійне виробництво виливків із чорних і кольорових сплавів
<i>Replicast-CS-трюфисс</i> - фірмова назва процесу лиття із застосуванням пінополістирольної моделі, яку попередньо видаляють із керамічної форми під час її прожарювання. Потім оболонка заформовується в піску і форма вакуумується	Серійне виробництво виливків з низьковуглецевих і легованих сталей
ЛГМ із заливанням форми методом вакуумного всмоктування	У серійному виробництві виливків із чорних і кольорових сплавів масою до 5 кг
ЛГМ із застосуванням ізостатичного тиску в процесі кристалізації металу	Серійне виробництво виливків з алюмінієвих сплавів
Лиття за моделями, що газифікуються, за <i>Stirocast</i> -процесом (гарантія якості)	Серійне виробництво виливків із чорних і кольорових сплавів

2. ВИРОБНИЧА ПРОГРАММА ЛИВАРНОГО ЦЕХУ, ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

Проектований ливарний цех передбачає лиття за моделями, що газифікуються. Розробка проекту цеху чавунного лиття потужністю 2000 тон, призначений для лиття виробів з розвісом до 75 кг за технологією лиття за газифікованими моделями.

Цех, що проектується класифікується:

- за типом процесів – лиття за газифікованими моделями;
- за родом виробництва – чорний цех для лиття виливків із сталі 110Г13Л;
- за характером виробництва – серійне;
- за рівнем механізації і автоматизації – середньо автоматизований;
- за масою виливків – цех дрібного литва;

Вимоги до проектування ЛГМ цеху.

Кадри. Забезпечення рентабельного виробництва можливе лише через організацію безперервного виробничого циклу (за гнучким графіком):

Мінімальна робоча зміна:

- Плавильник – найбільш кваліфікований спеціаліст, відповідальний за якість плавки та рецептуру, паралельно виконує функції лінійного керівника;
- оператор агрегату, до функцій якого входить регламентований огляд усіх систем та механізмів;
- два робочі ливарники на розлив готового металу та на приготування шихти;
- кожна зміна має бути забезпечена змінним електриком (можливо за сумісництвом).
- Необхідно загальне керівництво, належним чином необхідно вирішувати питання контролю та обліку надходження сировини, виходу готової продукції, матеріальних цінностей.

Інфраструктура. Виробничий цикл можна забезпечити з мінімальним набором пристроїв та механізмів, але високу якість та продуктивність, а також безпечну організацію праці (гаряче виробництво) можна отримати тільки через розвинену інфраструктуру:

Мінімально знадобляться:

- ковші розливні;
- виливниці;
- забезпечення газового підігріву ковшів та виливниць;
- підйомні пристрої;
- ваги;
- прилади контролю температури;
- інше щодо ситуації.

Майданчик заливальний призначений для обслуговування робочих місць формування та заливання опок, забезпечення безпеки при заливанні форм та створення оптимальних умов для контролю процесу заливки. Вона має такі габаритні розміри (довжина x ширина x висота): 11000 x 2742 x 2218мм та масу 2340 кг.

Переваги печей:

- Компактність печі та, відповідно, мала виробнича площа, гнучкість при прив'язці до існуючих приміщень;

- можливість використання як сировини – стружки та металобрухту з «мінімальним чадом», вихід металу – 85-95%;

- низьке споживання електроенергії на кг. рідкого металу в порівнянні з іншими видами та конструкціями печей;

- низькі інші експлуатаційні витрати на обслуговування (футерування, оборотна вода, електрод...);

- стабільність та економічність процесів за рахунок комп'ютерного управління гідравлікою подачі електрода, розпалюванням та утриманням дуги з оптимальними параметрами – «виключення людського фактора»;

- концентроване та оптимальне виділення енергії дуги та малий час розплаву – підготовки придатного до розливу металу;

- вибухобезпечність та низький рівень шуму;

Вимоги до проектування заливної ділянки:

- 400 кВт – мінімальний ліміт силового енергоозброєння одного комплексу (агрегат ДППТ та його інфраструктура). Необхідно мати резерви в розвитку;

- мінімальна виробнича опалювальна площа під розміщення одного комплексу – 200-250 кв.м., необхідно мати резерви на розвиток – 400-600 кв.м.;

- забезпечення газом під опалення та технологічні потреби – підігрів ковшів та виливниць;

- під'їзні шляхи вантажного автотранспорту із в'їзними воротами (мінімальний вантажопотік – до 400 тонн щомісяця);

- адміністративно – побутові приміщення.

Плавильний агрегат що включає:

- піч з гідравлічною системою управління дугою, склепінням та розливом;

- захищену систему енергозабезпечення (силові трансформатори та перетворювачі струму), здатну працювати в будь-яких кліматичних умовах;

- робочу станцію оператора з комп'ютерним контролем та управлінням процесом плавки;

- систему охолодження;

Вимоги щодо монтажу:

- індивідуальний фундамент;

- місцева витяжна вентиляція (можливо із фільтрами);

- підведення силової енергетики з шафою керування;

– підведення оборотної води на охолодження агрегату;

2.1 Продуктивність ливарного цеху з випуску придатного литва на рік, згідно із завданням на проектування

Високомарганцева сталь 110Г13Л. За минулий час проведено велику кількість робіт з дослідження сталі 110Г13Л, поліпшення її властивостей, а також створення нових марок зносостійких сталей замість неї. Однак досі сталь Гадфільда є основним матеріалом для виготовлення виливків, що працюють за ударно-абразивного зношування. З неї отримують близько 0,6 млн т лиття на рік.

Зносостійка сталь 110Г13Л містить у своєму складі 0,9 - 1,5 % С, 11,5 - 15 % Мп, 0,3 - 1,0 % Si, до 0,05 % S, до 0,12 % Р. Зазвичай співвідношення Мп : С має бути більшим за 10.

З неї виготовляють корпуси вихрових і кульових млинів, щоки дробарок, трамвайні та залізничні стрілки і хрестовини, гусеничні траки, зуби ковшів екскаваторів та інші деталі, що працюють на знос.

Після термічної обробки сталь має такі властивості:

$$\sigma_b = 800 \dots 1000 \text{ МПа}, \sigma_1 = 250 \dots 400 \text{ МПа}, \delta = 35 \dots 45 \%, \psi = 40 \dots 50 \%, \\ \text{НВ} = 170 \dots 230, \text{КСУ} = 2000 \dots 3000 \text{ кДж/м}^2.$$

Поєднання високої зносостійкості в разі докладання великих стираючих навантажень, коли твердість поверхневих шарів може сягати 550-600 од. НВ, з хорошою пластичністю та ударною в'язкістю є головною особливістю цієї сталі. Однак за суто абразивного зносу, коли переважає механізм зрізу поверхневих шарів абразивними частинками, сталь 110Г13Л зі структурою аустеніту не має суттєвих переваг перед іншими сталями з аналогічною твердістю.

Розрахунок шихтових матеріалів для сталі 110Г13Л.

Для розрахунку річної витрати металошихти для виробництва сталі марки 110Г13Л, потрібно спочатку визначити загальну кількість сталі, необхідну для виробництва 2000 тонн виливків на рік, а потім врахувати технологічні втрати і ефективність переробки металошихти в сталь.

Для виробництва потрібно приблизно 2400 тонн сталі, враховуючи 20% втрат на виробництво (включаючи литникову систему, обрізки та відходи процесу). Зазвичай ефективність переробки металошихти може коливатися від 85% до 95% залежно від якості сировини та технології виробництва. Припустимо, що ефективність переробки становить 85%.

Загальну потребу шихти визначимо із відношення потреби до ефективності:

$$\frac{2400}{0.85} = 2824 \text{ т}$$

Річна витрата металошихти (металозавалки) для виробництва сталі марки 110Г13Л, згідно з технологічною частиною проекту, кількість металошихти становить: 2824 т. (Таблиця 2.1.1).

Металобрухт і відходи власного виробництва, цехів повинні відповідати ДСТУ 2787-75 і забезпечити щільне укладання в бадью і піч.

Металошихта не повинна бути промасленою, забрудненою струмонепровідними предметами, сміттям, домішками і вибухонебезпечними предметами тощо.

Таблиця 2.1.1 Річна витрата металошихти

Найменування	%	т/рік
Придатні виливки	85	2399
Прибутки та літники	20	565
Бракбезповоротний	5	141
Сливи і сплески	4	113
Усього металобрухту	114	2824

Розрахунок навантаження формувально-заливальної лінії ЛГМ на річну програму випуску – 2000 т. виливок «рейка крамольерна».

Кількість виливок на рік:

$$\frac{2000 \text{ т}}{0,06674 \text{ т}} = \frac{2000 * 1000}{66,74} = 29976 \text{ шт.}$$

Кількість виливок на місяць:

$$\frac{29976}{12} = 2498 \text{ шт.}$$

Кількість виливок на день (припускаємо що в місяці 22 робочі дні):

$$\frac{2498}{22} = 114 \text{ шт.}$$

Формувальна лінія працює 14 годин на добу у дві зміни.

Кількість виливок на годину:

$$\frac{114}{14} = 8 \text{ шт.}$$

Для задоволення річної програми випуску 2000 тонн, необхідно виготовляти 8 виливків на годину, що є реальним і досяжним показником для формувальної лінії.

У таблиці 2.1.2 представлено закупівельні ціни з ПДВ і норму витрат феросплавів і допоміжних матеріалів для виробництва 1 тонни лиття високомарганцовистої сталі 110Г13Л.

Таблиця 2.1.2 Розрахунок вартості феросплавів і допоміжних матеріалів.

№ п/п	Найменування	одиниця виміру	Норма в кг	Норма в т	Ціна, грн
1	Брухт сталевий А-2	кг/грн	780	0,78	4014
2	Феромарганець високовуглецевий ФМн78	кг/грн	190	0,19	21638

3	Феросилікомарганець MnC17	кг/грн	44	0,044	21197
4	Феросиліцій 45% ФС45	кг/грн	10	0,01	15460
5	Феросиліцій 75% ФС75	кг/грн	10	0,01	24292
6	Алюміній вторинний АВ86	кг/грн	4	0,004	51743
7	Кокс металургійний	кг/грн	30	0,03	4585
8	Порошок магнезитовий	кг/грн	50	0,05	3348
9	Електроди графітовані	кг/грн	25	0,025	23106
10	Глина вогнетривка	кг/грн	12	0,012	353
11	Мартель вогнетривкий	кг/грн	12	0,012	3613
12	Пісок формувальний	кг/грн	15	0,015	2230
13	Цегла ШБ № 5	кг/грн	10,5	0,0105	1204
14	Цегла ШБ № 22	кг/грн	1,5	0,0015	1248
15	Цегла ШБ № 23	кг/грн	1,5	0,0015	1293
16	Цегла ШБ №44	кг/грн	0,5	0,0005	1338
17	Цегла ШБ № 45	кг/грн	0,5	0,0005	1382
18	Цегла ШКУ - 32 № 1	кг/грн	3,3	0,0033	1427
19	Цегла ШКУ - 32 № 2	кг/грн	6,7	0,0067	1516
20	Цегла ШКУ - 32 № 3	кг/грн	3,3	0,0035	1561
21	Цегла ПХС № 1 (магнезитова)	кг/грн	10	0,011	5352
22	Цегла ПХС № 9 (магнезитовий)	кг/грн	4	0,004	5441
23	Цегла ПХС № 10 (магнезитова)	кг/грн	19	0,0345	5531
24	Трубка стопорна	кг/грн	12	0,012	5799
25	Пробка стопорна	кг/грн	1,3	0,013	5888
26	Стакан стопорний	кг/грн	2,8	0,0028	7011
27	Вкладиш магнезитовий	кг/грн	0,4	0,0004	11418
28	Цегла гніздова	кг/грн	1,3	0,0013	1910
29	Шпат плавиковий	кг/грн	10	0,01	2291
30	Вапняк	кг/грн	60	0,06	578
31	Брила силікатна	кг/грн	4	0,0042	3937
32	Гас	кг/грн	0,8	0,0008	8475
33	Вогнетривка фарба	кг/грн	5	0,0005	5658
34	Клейонка	м ² /грн	10	0,001	10705
35	Дріб чавунний	кг/грн	3,4	0,0034	8668
36	Графіт сріблястий	л/грн	0,8	0,0008	10459
37	Пропан	кг/грн	1,5	0,0015	17
38	Круг наждачний	шт/грн	0,69	0,0007	367
39	Електроди зварювальні	кг/грн	0,5	0,0005	2230

40	Газ природний	кг/грн	365,4	0,365	852
41	Відрізнi круги	шт/грн	5	0,0005	267
42	Цвяхи будiвельнi	кг/грн	0,3	0,0003	9
43	Порошок алюмiнiєвий	кг/грн	3	0,003	50948
44	Розчинник фарб	кг/грн	0,1	0,0001	937
45	Силiкокальцiй СК 30	кг/грн	1,5	0,0015	4942

2.2 План проєктованого цеху

Проектований цех призначений для виробництва різноманітних виливків з чавуну з максимальною вагою до 75 кг. Цех оснащений сучасним обладнанням, що забезпечує високий рівень автоматизації та оптимізацію виробничих процесів. На рисунках 2.2.1 та 2.2.2 наведені креслення проєкту, та також креслення (табл. 2.2.1) до них.

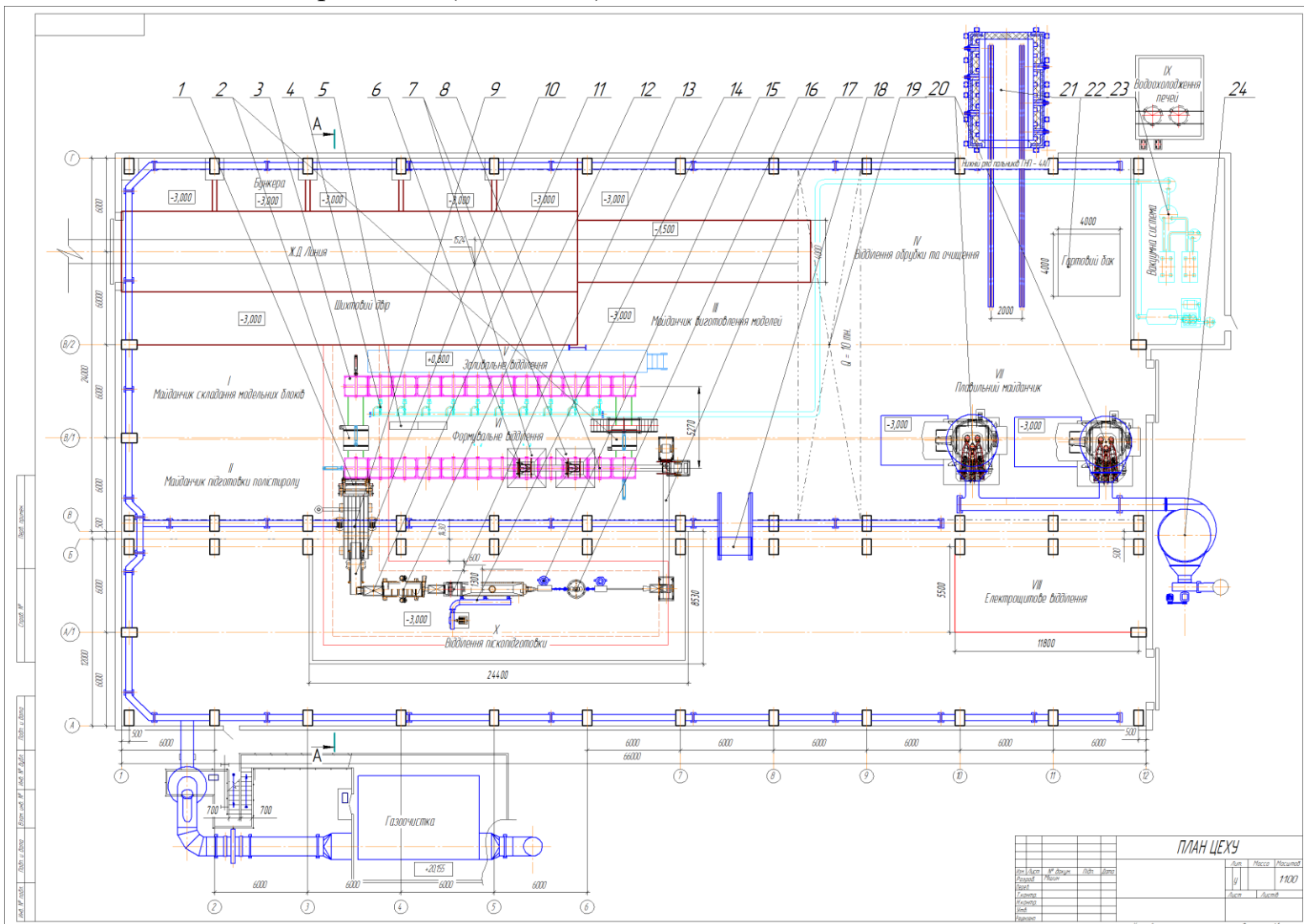


Рис. 2.2.1 — Планування цеху, модельна ділянка: I – майданчик одиничних моделей та складання модельних блоків; II – майданчик підготовки полістиролу; III – майданчик виготовлення моделей; формувально-заливальна ділянка: IV – відділення обрубкi та очищення виливкiв; V –

електрощитове відділення з пультом управління плавильними печами ІСТ, тиристорними перетворювачами та конденсаторними батареями; VI – плавильний майданчик; VII – формувально-заливальний майданчик з ПТМ; VIII – відокремлення водопідготовки охолодження печей ІСТ; IX – відділення піскопідготовки

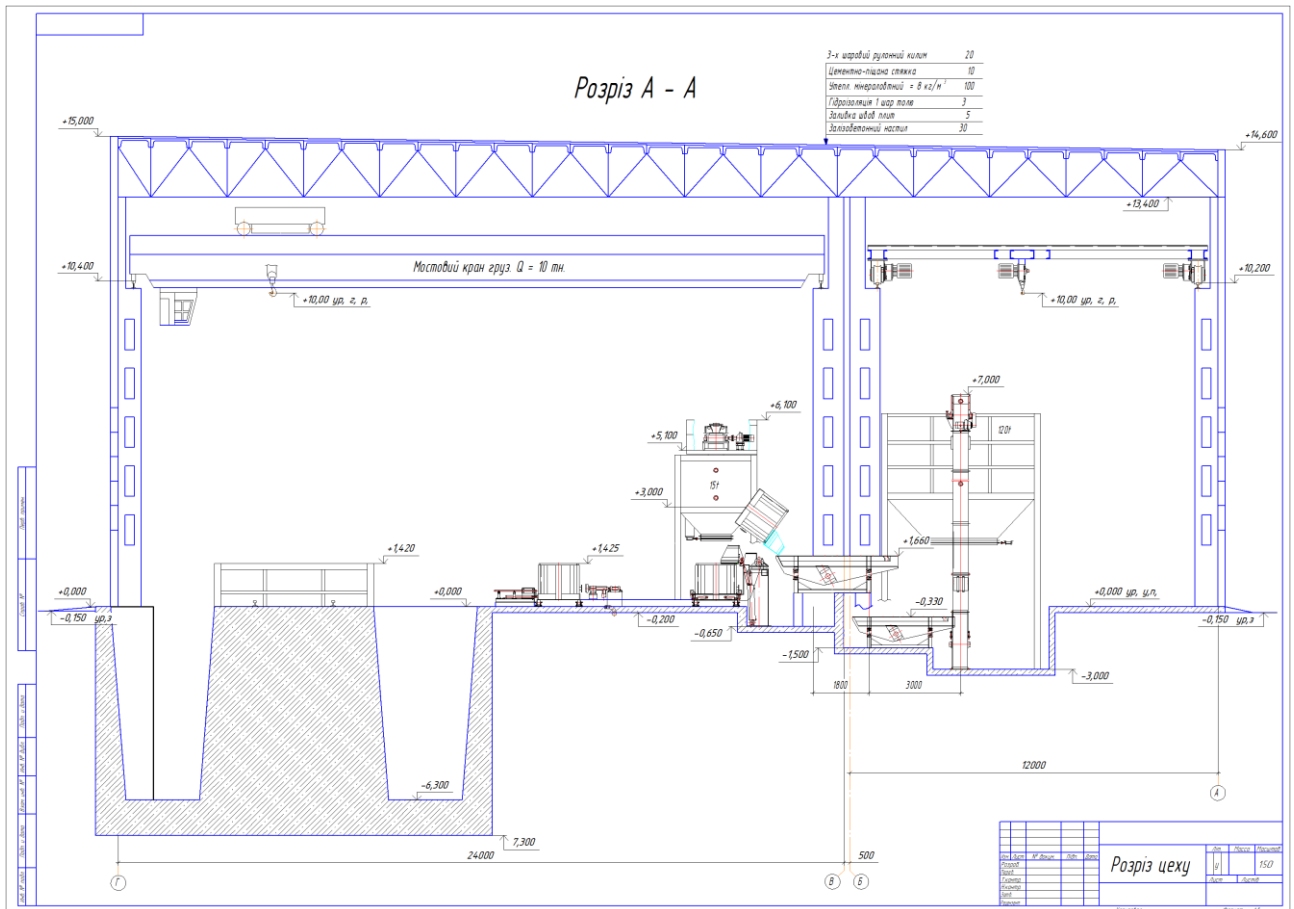


Рис. 2.2.2 — План цеху у розрізі.

Таблиця 2.2.1 – Специфікація до плану проектного цеху

№	Найменування встаткування	Коротка технічна характеристика	Кількість, шт.
Формувально-заливальна ділянка			
1	Кантувач гідравлічний KWYF-01	1965x1500x2243	1
2	Візок трансбордерний	1300 x 1260 x 593	
3	Вакуумна опока	800x800x1000	
4	Вакуумний розподілювач		10
5	Шафа управління лінією		
6	Вібростіл 3-х мірний XYZ-I		
7	Формувальний бункер с перворованою плитою	3200 x 3700 x 5170	
8	Рольганги	3000 x 1279 x 602	
9	Вібросито	3704 x 1382 x 2050	
10	Віброгрозіт		

11	Елеватор ланцюговий ТН160		
12	Магнітний сепаратор	3000 x 2500 x 1500	
13	Охолоджувач піску від «АКС»	4500x1500x4000	
14	Вібротранспортер		
15	Камерний насос	1450 x 1000 x 1430	
16	Силос	3264 x 2583 x 8052	
17	Елеватор стрічковий D160		
18	Передаточний візок		
19	Мостовий кран		
20	Піч ел. індукційна тигельна ІСТ-1	Q = 500 кг, N = 580 кВт	2
21	Термічна піч		
22	Гартовий бак		
23	Вакуумна система		
24	Газовідведення		
25			

2.3 Технологія виготовлення вилівка “рейка крамольєрна”

Рейка крамольєрна (рис. 2.3.1) має прямокутний профіль з набором точно вирізаних зубців на одній або обох сторонах. Виготовляється з високоміцної сталі, здатної витримувати значні навантаження і має антикорозійне покриття для довговічності. У деяких випадках застосовуються алюмінієві або титанові сплави для зниження маси конструкції при збереженні міцності. Функціонує шляхом зачеплення її зубців зі шестернею або пініоном, які приводяться в рух відповідним двигуном. Таке зачеплення дозволяє передати крутний момент від двигуна до рейки, забезпечуючи рівномірний та стабільний рух уздовж осі переміщення.

Використовується у механізмах для точного лінійного переміщення або позиціонування важких навантажень у металообробних верстатах, робототехніці та автоматизованих лініях складання. Основна функція цієї деталі полягає в забезпеченні стабільності та точності переміщення, завдяки взаємодії з відповідними приводними компонентами, такими як шестерні або сервомотори.



Рис. 2.3.1 — Рейка кромольерна

Технологічні операції одержання виливків зазвичай виконують у такій послідовності:

- 1) проектування технології лиття з вибором положення моделі у формі, виду та розмірів ливниково-живильної системи (ЛЖС);
- 2) одержання моделей;
- 3) формування;
- 4) плавка металу

Проектування моделі

1. Розрахунок ваги однієї рейки

Рейка має прямокутну основу з зубцями. Для спрощення розрахунку візьмемо середню ширину:

$$\frac{175 + 150}{2} = 162,5 \text{ мм}$$

Об'єм рейки без врахування зубців та виступів:

$V = \text{довжина} \times \text{середня ширина} \times \text{висота}$

$$V = 490 \text{ мм} \times 162,5 \text{ мм} \times 100 \text{ мм}$$

$$V = 7968750 \text{ мм}^3 = 7968,75 \text{ см}^3$$

Додамо об'єм зубців:

$V_{\text{зуб}} = \text{довжина зубців} \times \text{ширина зубців} \times \text{висота зубців} \times \text{кількість зубців}$

$$V_{\text{зуб}} = 490 \text{ мм} \times 80 \text{ мм} \times 30 \text{ мм} \times 5$$

$$V_{\text{зуб}} = 588000 \text{ мм}^3 = 588 \text{ см}^3$$

Загальний об'єм рейки:

$$V_{\text{заг}} = 7968.75 \text{ см}^3 + 588 \text{ см}^3 = 8556.75 \text{ см}^3$$

Обчислення ваги готового виливку:

$$\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$$

$$m = V_{\text{заг}} \times \rho = 0.00855675 \text{ м}^3 \times 7800 \text{ кг/м}^3 = 66.74 \text{ кг}$$

2.4 Етапи виготовлення виливки “рейка крамольєрна”.

Основні етапи виготовлення виливки "рейка крамольєрна" за технологією лиття за газифікованими моделями (ЛГМ) включають наступні кроки:

- підготовка моделі у CAD програмах;
- виготовлення моделі з пінополістиролу;
- асемблювання кластеру та розрахунок кількості моделей у кластері;
- випалювання та згоряння моделі;
- фінальна обробка виливки.

2.4.1 Підготовка моделі у CAD програмах

Використання CAD програм дозволяє точно спроектувати крамольєрну рейку з урахуванням усіх геометричних деталей і технічних характеристик. Спроекована модель та її литникова система зображена на рисунку 2.3.1, 2.3.2 та 2.3.3.

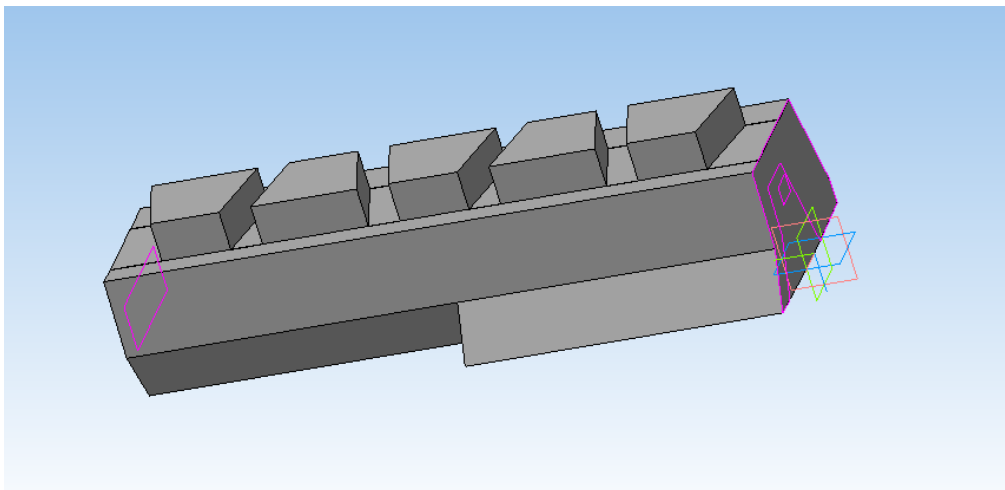


Рис. 2.4.1.1 — Спроекована модель “рейки крамольєрної”.

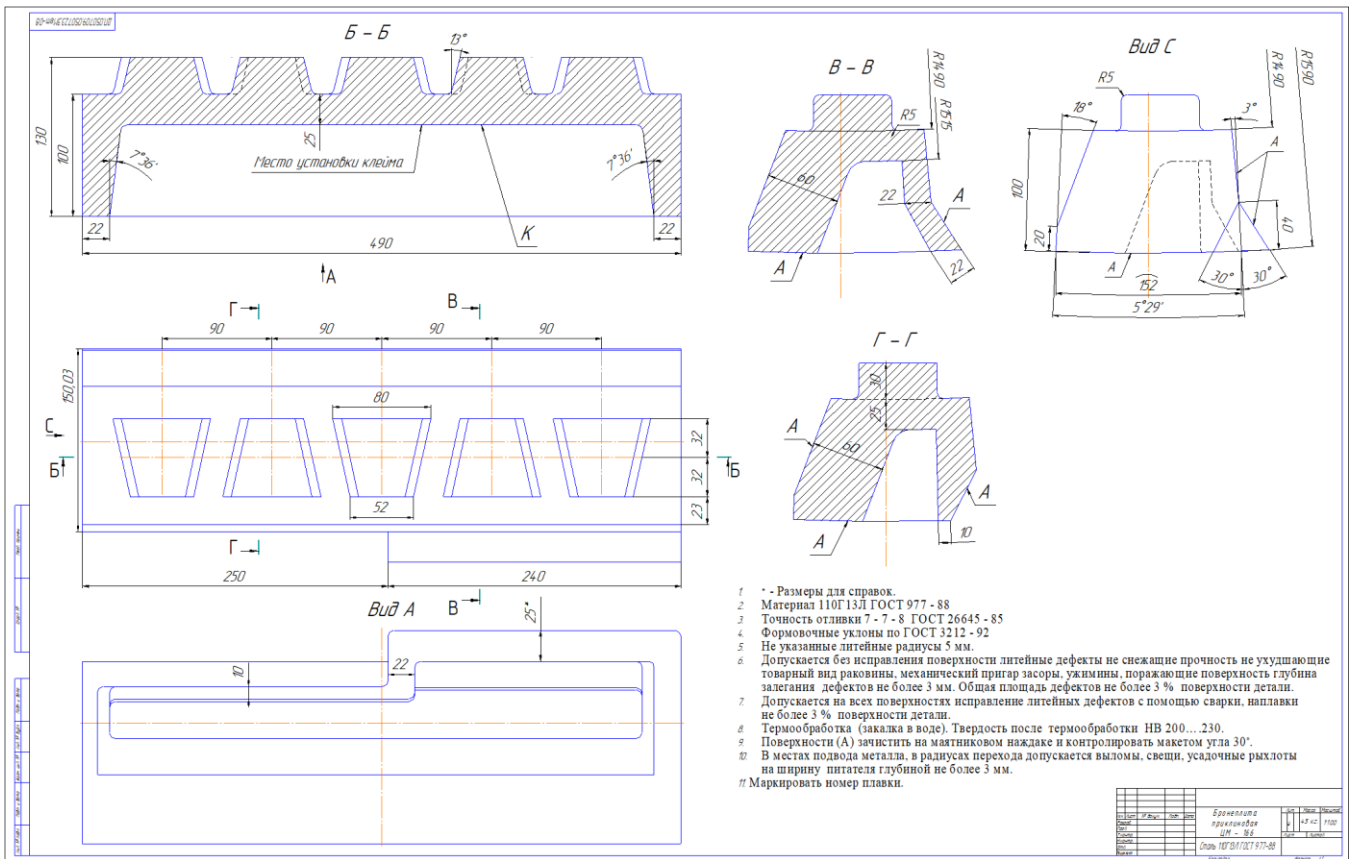


Рис. 2.4.1.2 — Креслення моделі “рейка крамольерна”.

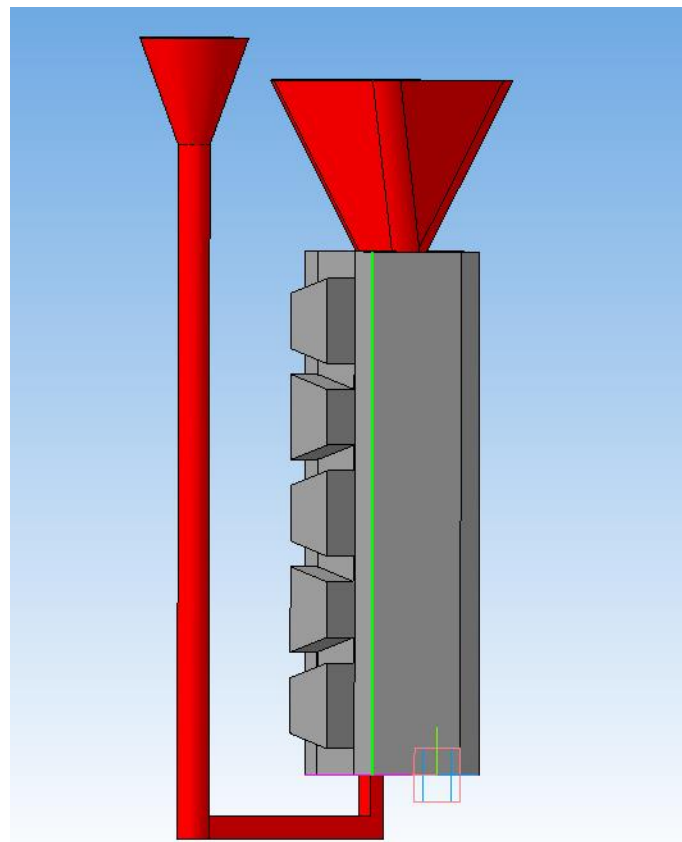


Рис. 2.4.1.3 — Проект моделі “рейка крамольерна” та її литникової системи.

До пінопластової моделі або кластера моделей приєднуються литникові канали, які дозволяють металу заповнювати форму. Литникова система

розробляється таким чином, щоб забезпечити оптимальний розподіл розплавленого металу та мінімізувати утворення порожнин і дефектів.

Вид ливникової системи та її розміри залежать від співвідношення висоти та товщини стінки виливки з огляду на те, що недостатнє подавання металу часто призводить до руйнування форми, а перевищення - до викиду газів, металу, формувального піску, із супутньою розгерметизацією форми.

2.4.2 Розрахунок діаметра литникових каналів

Розглянемо розрахунок для потоку металу, який необхідний для заповнення однієї моделі рейки. Якщо маса однієї рейки близько 66.74 кг, розрахуємо потік металу, який необхідний для заповнення моделі протягом 10 секунд.

Об'єм металу для однієї рейки:

$$V = \frac{66,74}{7800 \text{ кг/м}^3} = 0,00856 \text{ м}^3$$

Потік металу(Q):

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,00856 \text{ м}^3}{10 \text{ с}} = 0,000856 \text{ м}^3/\text{с}$$

Розрахунок площі перерізу литника(A):

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,000856 \text{ м}^3/\text{с}}{0,5 \text{ м/с}} = 0,001712 \text{ м}^2$$

Діаметр каналу (D):

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,001712 \text{ м}^2}{\pi}} = 0,047 \text{ м} = 47 \text{ мм}$$

2.4.3 Розрахунок кількості моделей у кластері

Моделі в контейнері розташовують з можливістю заповнення піском по всій їхній поверхні без утворення порожнеч або слабого ущільнення піску, особливо якщо вони мають внутрішні порожнини або піднутріння. Під час формування моделей зі встановленими в них холодильниками останні бажано закріплювати до ливарного контейнера з метою запобігання зсуву під час заливання.

Мета: Максимізувати кількість моделей у кластері, не перевищуючи габаритів віброопки, і забезпечити достатній простір для газовідводу і заповнення металом.

Розрахунок:

Розміри моделі: габарити однієї рейки (з урахуванням усадки та інших факторів) складають 500 мм в довжину, 175 мм в ширину і 130 мм в висоту.

Відстані між моделями: Припустимо, мінімальна відстань між моделями для ефективного газовідводу і заповнення металом становить 60 мм.

При розмірах віброопоки 800x800x1000 мм, можна розрахувати максимальну кількість рядів і стовпців моделей:

1. Розрахунок по довжині опоки:

Розмір моделі з відстанню по довжині: 130 мм (довжина моделі) + 60 мм (відстань) = 190 мм

Максимальна кількість моделей по довжині:

$$\frac{800 - 60}{190} = \frac{740}{190} = 3,8 \text{ моделі} \sim 3 \text{ моделі}$$

2. Розрахунок по ширині опоки:

Розмір моделі з відстанню по ширині: 175 мм (ширина моделі) + 60 мм (відстань) = 235 мм

Максимальна кількість моделей по ширині:

$$\frac{800 - 60}{235} = \frac{740}{235} = 3,15 \sim 3 \text{ моделі}$$

Таким чином, максимальна кількість моделей (рейок), яку можна розмістити у віброопці розміром 800x800x1000 мм з урахуванням відстані між моделями 60 мм і обмеженням у висоту на 1 модель, складає 3x3 = 9 моделей.

2.4.4 Формування та випалення ЛПС моделі

Цикл формування, який при ЛГМ включає такі технологічні операції:

1) подача очищеного і знепиленого формувального матеріалу - вогнетривкого наповнювача в контейнер (із вмістом пилоподібних частинок до 8% і з температурою нижче 40 °С);

2) створення піщаної "постелі" в ливарному контейнері;

3) контроль формувальником моделі/модельного блоку (куща) з ЛПС на відсутність відшарувань протипригарного покриття, щілин у місцях склеювання частин моделі, стояка, живильників, прибутків тощо;

4) встановлення моделі/блоку на "постіль" у контейнері;

5) пошарове засипання контейнера з віброущільненням для заповнення піском порожнин моделі (які в традиційних формах зі зв'язувальною речовиною, виготовлених за постійними моделями, виконують стрижнями).

6) герметизація контейнера з установкою ливарної чаші, а також засипання захисного шару піску на герметизуючу плівку від пропалу краплями рідкого металу під час заливки;

7) транспортування контейнерної форми на заливальний плац і під'єднання її до рукава вакуумної системи, з подальшим увімкненням вакуумного насоса лише на період заливки з витримкою 0,5-5 хв. після неї для затвердіння виливки.

Під час формування між вакуумно-фільтрувальним трубопроводом і моделлю дотримується дистанція в межах 70...80 мм для досягнення оптимального режиму вакуумування. Гази, проходячи цю дистанцію,

втрачають 40...60% температури від тієї, яку вони мали на вході в пісок, що збільшує їхню в'язкість. При укладанні на відстані менше 20 мм відкачувані гази можуть розплавити трубопровід контейнера або деформувати форму з імовірністю потрапляння металу всередину цього трубопроводу.

Пінополістирол розрізається або формується за допомогою спеціального обладнання, такого як CNC машини, які забезпечують високу точність та повторюваність. Модель може бути виготовлена цілісно або з декількох частин, які потім збираються в єдине ціле.

Зібрані моделі з литниковою системою обгортаються спеціальним піском, який має властивості високої газопроникності та теплостійкості.

Для лиття за газифікованими моделями зазвичай використовують спеціалізовані типи піску, що відрізняються за хімічним складом та фізичними властивостями.

Якщо від марки використовуваного ППС і клею залежить об'єм і склад продуктів деструкції, то від піску як формувального матеріалу, так само, як і від конструкції вакуумної системи і фарби, залежить стабільність утримання газодинамічного балансу під час заливки. Проведені дослідження показали, що кварцовий пісок, як і металевий дріб, має оптимальне поєднання газопроникності та теплопровідності для ЛГМ. При накладенні вібрації відбувається ущільнення піску на величину, що становить до 20% початкового обсягу після вільного засипання.

Пісок під час ЛГМ використовують багаторазово з відсівом ~5% після кожної заливки. Тому в ньому може збільшуватися частка дрібних частинок із розмірами $\leq 0,05$ мм через руйнування його зерен насамперед під час термічного впливу температури металу, а також під час вибивання і проходження лінії очищення-охолодження. Якщо частка дрібних частинок перевищує 8%, то газопроникність піску різко знижується, проте застосування пневмотранспорту в лінії обігу піску [4] досить ефективно його знепилює шляхом винесення пилу з повітрям і осадження його в циклонах.

З кожним повторним використанням зовнішня поверхня частинок піску в шарі форми, що примикає до моделі, покривається залишками продуктів деструкції ППС, включно з твердими сажистими залишками. Звичайно, сажисте покриття збільшує термостійкість. Органічні включення трохи знижують плинність піску, що не чинить помітного впливу на ущільнюваність і газопроникність, а частина з них, вигоряючи від тепла залитого металу і гарячого газового потоку, що проходить, створюють нові канали для цього потоку.

Однією з найвідповідальніших при ЛГМ є технологічна підготовка операції формування, незважаючи на те, що саме формування може займати до 10 хв.

Після обгортання форму випалюють. На цьому етапі форма з пінополістироловою моделлю і литниковою системою поміщається в піч або нагрівається іншим способом до температури, що достатня для повного згоряння пінополістиролу. Пінополістирол починає згоряти при температурі

близько 100°C, але для повного і швидкого випалення температура може бути значно вищою.

2.4.5 Заливка металу

Ступінь розрідження (вакууму) в ливарній опоці (контейнері) залежить від виду металу, що заливається, і зазвичай коливається від 400 до 150 мм рт. ст. (0,5 - 0,2 атм.). Одним із головних чинників, що визначають об'єм газів деструкції за однієї й тієї самої марки ППС моделі, є температура металу, що заливається, від 650 °С для алюмінієвих сплавів до 1800 °С для жаростійких залізовуглецевих.

На процес лиття впливає не тільки спосіб подачі металу, а й кліматичні та сезонні чинники. Наприклад, збільшення вологості повітря веде до збільшення вологості піску, фарби на поверхні моделі, зміни плинності металу. Волога в піску форми призводить до появи водяної пари під час нагрівання його газами деструкції моделі та контактної теплопровідності від металу виливки. За наявності в піску залишкової вологи 0,4% його плинність знижується на 30% [7]. Під час деструкції моделі виникає вільний водень, який частково реагує з киснем повітря, утворюючи пари води. Пари води можуть бути присутніми в моделі, особливо, якщо виготовлена модель не висушена як після виготовлення, так і після фарбування, як того вимагає технологія ЛГМ. З метою нівелювання цих чинників розташовують моделі таким чином, щоб забезпечити рівномірність вакуумування модельних блоків, яких нерідко у формі є кілька, а підведення розплаву до моделі здійснюється щоб забезпечувалися рівномірне зростання і подальше зменшення об'ємів газів деструкції ППС під час заливки.

На дотримання газодинамічного балансу форми впливає співвідношення розмірів елементів ливниково-живильної системи, яку виконують відповідно до законів гідравліки, оскільки неправильний підбір цих розмірів може призвести до створення в ній розрядження з утворенням порожнин між металом і стінкою каналів цієї системи, куди може обсипатися пісок. Такому розрядженню в ливникових каналах запобігають насамперед застосуванням замкнутих ливникових систем, потік металу в яких регулюють збільшенням відношення площі перерізу стояка до живильника як найтоншого місця (вузького перерізу), тобто зменшенням живильника або збільшенням стояка з відповідним збільшенням розмірів чаші.

Зменшення витрати металу від розрахункової призводить до розбалансування тиску в зазорі метал-пінополістиролова модель, що несе загрозу обвалення форми.

2.4.6 Регулювання тиску

Порожнину форми із сифонною ливниковою системою під час заливки можна уявити як дві сполучені посудини: відкритий з торця стояк (1) і закрити

порожнину форми з моделлю, що заміщується металом (2). Процес заливки металом і газифікації моделі виглядає як перетікання з відкритої посудини в закриту. Якщо у двох посудинах на однаковому рівні є однаковий тиск, то в стояку він складається в сумі з металостатичного тиску з атмосферним, а у формі в сумі – тиск металу з тиском газів від газифікації моделі. Цей тиск газів може на 24% перевищувати атмосферний тиск і досягати 124 кПа [5]. Тобто, гази від газифікації рідким металом ППС утворюють тиск на пісчану форму під час заміщення металом моделі. В опці підтримується тиск, що дорівнює 50...60% від атмосферного (50...60 кПа), при цьому творюється перепад зазначених значень тиску в ливарній формі.

Якщо під час заливки метал надто швидко газифікує модель, то зростання тиску газів гальмує течію металу по ливниковій системі [5], що призводить до зменшення темпу газифікування. А якщо газифікування слабе, то вакуум форми, проникаючи в ливарну порожнину, підсмоктує метал, що заливається, стимулюючи газовиділення від деструкції моделі.

Якщо стояк під час гравітаційної заливки не підтримувати заповненим металом, то часто в порожнину стояка підсмоктується і повітря з характерним шиплячим звуком, що вкрай небажано через високу ймовірність появи браку виливки.

2.4.7 Очищення та фінішна обробка

Після остигання і затвердіння металу форму руйнують, а рейку кромольєрну очищають від залишків піску та литникових елементів. Хоча лиття за газифікованими моделями мінімізує необхідність у додатковій обробці, деякі операції, такі як знежирення, полірування або термообробка, можуть бути виконані для підвищення міцності або естетичних характеристик виробу.

Цей процес дозволяє виготовляти рейки кромольєрні з високою точністю і складністю форм, що робить метод LGM ідеально підходящим для виробництва складних металевих виробів, які вимагають високої точності і якості.

3. СУЧАСНЕ ОБЛАДНАННЯ «ЧОРНОГО ЦЕХУ» ЛГМ

3.1 Пристрої та принцип роботи лінії ЛГМ

Лінія ЛГМ (рис. 3.1.1) включає систему транспортування опок і автоматизовану установку регенерації формувального піску. Система транспортування опок складається з двох гілок приводних рольгангів, встановлених на рами, двох візків трансбордерних, кантувача та сита вібраційного. На першій галузі приводних рольгангів порожні опоки подаються на позицію формування, де пересувний дозатор пристрою засипки піску, дрібними струмками пошарово заповнює опоку рівномірно по всій площі (дрібні струмені піску не руйнують моделі, зібрані в «кущ» литникової системи). Спочатку створюється спеціальна «ліжка» (заввишки до 100 мм) з наступним ущільненням, на яку встановлюється модельний блок, і підсипається пісок. Кожен шар піску ущільнюється вібрацією на вібростолі, що дозволяє генерувати віброприскорення будь-якої амплітуди та напрямки. Після заповнення опоки піском встановлюється литникова чаша, і після короткочасного ущільнення вібрацією вібростіл опускається. На поверхню форми накладається поліетиленова плівка, на яку засипається пісок по всій площині опоки, за винятком воронки литникової, щоб уникнути спалювання плівки при заливці. Для створення оптимальних умов при формуванні та заливанні вздовж першої гілки приводних рольгангів передбачено заливальний майданчик. Заформована опока по приводному рольгангу переміщається на позицію заливки. Опока з'єднується із системою розрідження та відбувається заливання металу у форму під вакуумом. Форми вакуумуються лише при заливці металу, під час якої моделі з пінополістиролу газифікуються з виділенням газів. Після охолодження виливків, опока монорельсом подається на механізм перекидання, який висипає вміст опоки в бункер на вібраційне сито. Після кантовки порожня опока повертається на візок трансбордерний і переміщається на рольгангову лінію для формування. У бункері відбувається відділення ливарного куща від піску на вхідному ситі колосникового типу. Кущ падає у кубель, де вилівка остаточно охолоджується, а пісок потрапляє на віброгрохот, де від нього відокремлюються включення металу та шматки запеченого піску. Просіяний пісок подається в камеру гомогенізації та попереднього охолодження, який потім за допомогою ланцюгового елеватору надходить у порційний класифікатор-охолоджувач, де остаточно охолоджується та знепилюється. Пройшовши охолодження, за допомогою стрічкового транспортера пісок надходить у накопичувальний силос, який потім по трубопроводах за допомогою камерного насоса повертає його у формувальний бункер пристрою засипки піску у контейнер. На рисунку 3.1.1 наведений приклад спроектованої ЛГМ дільниці.



Рис. 3.1.1. Лінія ЛГМ

3.2 Контейнерні вакуумні опоки

Контейнерні вакуумні опоки (рис. 3.2.2) – зварний сталевий короб, який використовується при формуванні пінополістирольних блоків, що засипаються піском певної фракції. Стінки та днище опоки має вакуум-трубопроводи, що забезпечують рівномірне розрядження.

Конструкція ЛК повинна задовольняти таким вимогам:

- жорсткість;
- герметичність;
- рівномірність вакуумування поверхнею моделі або об'ємом піску (докладніше див. [4]);
- зручність експлуатації, включно з вимогами безпеки праці та екології;
- ремонтпридатність;
- довговічність під час експлуатації та вібродії, а також невисока вартість.



Рис. 3.2.2. Контейнерні вакуумні опоки

Необхідність жорсткої конструкції зумовлена тим, що на контейнер, який вакуумується, під час експлуатації діють сили зовнішнього атмосферного тиску, а також вібро-транспортні впливи і можливий контакт із розплавом металу. Під час заливання зусилля, що діють на ЛК, складаються з: 1) газового тиску 30,70 кПа на зовнішню поверхню від різниці атмосферного тиску і вакууму; 2) сил термічного розширення формувального піску і його ваги; 3) ваги металу, що заливається.

Пофарбований модельний блок встановлюється в опоку вручну або за допомогою робота-маніпулятора на відстані не менше 50-70 мм від стінок опоки та днища. Заповнені піском вакуумні опоки переміщуються на тривимірний вібростіл за допомогою кранбалки або конвейєра, включаються вібродвигуни і ущільнюються по всьому об'єму (по осі XYZ). Під час формування для заповнення порожнин у моделі/модельних кушів піском, ЛК з піском вібрують, збільшуючи плинність і створюючи ефект псевдорідини. Після віброущільнення опока накривається плівкою, присипається піском 20-40 мм і підключається гумовими рукавами до вакуумної системи.

Розміри робочого простору опок визначаються на стадії проектування і залежить від зміни модельного блоку. Для переміщення опоки вантажопідйомним механізмом передбачені спеціальні цапфи. Опока може комплектуватися колісними парами для пересування рейками.

За час впровадження ЛГМ-процесу в ливарних цехах компанії та інших підприємствах створено вакуумовані ливарні контейнери (ЛК) різних форм і конструкцій.

Перші конструкції ЛК були без засобів вакуумування, для чого використовували традиційні опоки [1], або герметично зварені ящики. Через два десятиліття для форм із піску без сполучної речовини у 80-х роках минулого століття стали застосовувати вакуумування, що стабілізувало міцність форми, стало обов'язковим фактором для отримання високоякісних виливків, а також кардинально поліпшило екологію лиття.

Перші контейнери циліндричної або прямокутної форми мали канали різної форми або перфоровані профілі з сітками, що закривали їх, для захисту від проникнення піску. Використовували сітки з дрібними осередками або більші в кілька шарів. Дрібні частинки піску, що виносяться газами деструкції, потрапляючи в канали разом з конденсацією газоподібних продуктів ППС, з часом різко зменшують прохідний перетин. Конструкцію перших контейнерів із сітчастими стінками наведено на рис. 3.2.3.

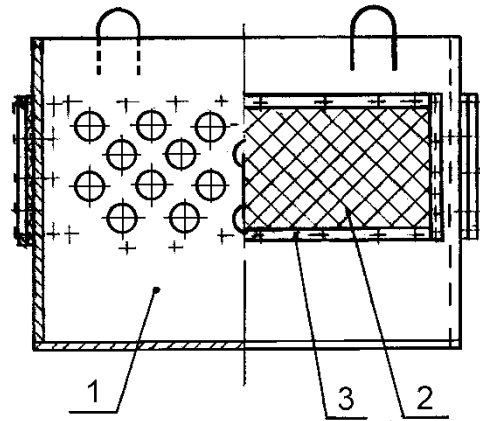


Рис. 3.2.3. Контейнер із вентиляльованими стінками без вакуумування:
1 – Корпус із перфорацією; 2 – Сітка; 3 – Рамка притискна

Для запобігання погіршення умов відкачування регулярно розбирали й очищали канали, сітки. З цієї причини також типи ЛК хоча прості конструктивно і недорогі під час виготовлення, але в експлуатації більш трудомісткі. Основним недоліком ЛК такої конструкції є різновіддаленість різних частин моделі від сітчастого фільтра, що призводить до нерівномірності виведення газів деструкції моделі. Особливо дуже складно здійснити оптимальне виведення газів, коли виливок великий, складної конфігурації та з отвором і порожнинами в середині. З метою усунення цього недоліку в середину ЛК встановлювали перфоровану обтягнуту сіткою прямокутну трубу (рис. 3.2.4). У ЛК такої конструкції умови отримання виливків при ЛГМ більш наближені до необхідних.

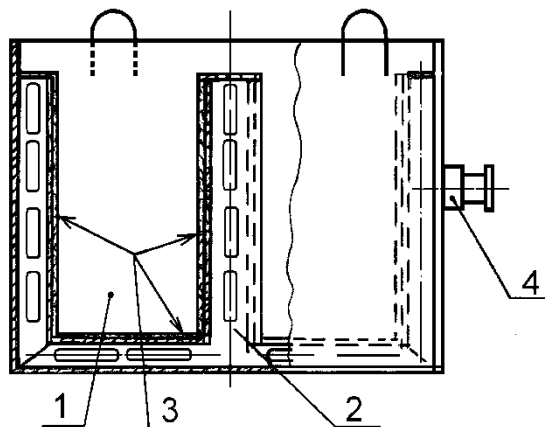


Рис. 3.2.4. ЛК з фігурною системою вакуумування:
1 – Корпус; 2 – Стійки; 3 – Сітка; 4 – Вузол (штуцер) вакуумування

В подальшому проведено удосконалення конструкцій ЛК, що привело до використання стандартних гнучких спіральних труб, та мають перфорацію або міжвиткові щілини. Їх укладають за висотою в кілька шарів по бортах ЛК у спеціальні перфоровані профілі, а їхні кінці з'єднані в загальний короб із патрубком, до якого приєднується вакуумна система. Відстань між шарами спіральних труб не перевищує 80,0 мм. Використовувані ЛК такої конструкції

виявилися більш ефективними. Подальша зміна конструкції призвела до відмови укладання гнучкого трубопроводу в перфоровані кріплення, труби, гнуті

П-подібні профілі, а навішування його на спеціальні гаки з кола або листа. Це дає змогу легко знімати гнучкі труби і укласти їх навколо і всередині моделі на необхідних відстанях. Збільшується відкачуваність газів, що визначає вихід якісних виливків без науглецювання і газових раковин. Ці ЛК можна використовувати для отримання виливків різної ваги зі складними формами. Основа (дно) контейнера з товстого листа забезпечує рівномірний контакт із плитою вібростола, а також використання рольгангів, приводних і безприводних, для переміщення між технологічними майданчиками формувальньо-заливальної дільниці.

Останні моделі ЛК мають донне розвантаження за допомогою важільного механізму. Їх зручно переміщати, вони високоефективні для лиття з вакуумуванням, у процесі виконання технологічних операцій легко переміщуються по замкнутій конвеєрній рольганговій системі (з приводом або без) ливарного цеху в кількості до кількох десятків штук, швидко висипаються без перекидання, що покращує санітарно-гігієнічні умови через усунення запиленості повітря на дільниці вибивання. Така конструкція ЛК наведена на рис. 3.2.5. Досвід експлуатації цих ЛК у цеху ЛГМ продуктивністю до 5 000 т. виливків/рік засвідчив їхню високу універсальність і надійність.

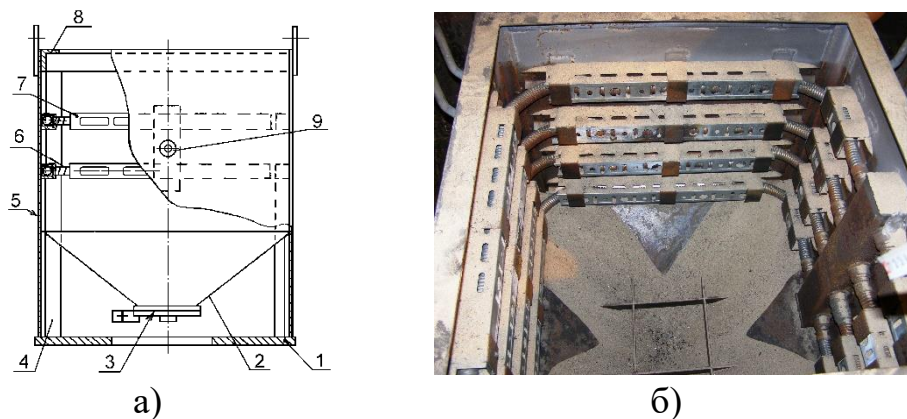


Рис. 3.2.5. ЛК із донним розвантаженням: а) вигляд збоку, б) фото зверху ЛК із 4-ма рядами гнучких рукавів. 1 – дно; 2 – донна частина; 3 – вузол вивантаження; 4 – стійки; 5 – бічні стінки; 6 – гнучкі рукави; 7 – захисні профілі; 8 – підсилювальні ребра; 9 – вузол вакуумування

Для серійного отримання великогабаритних виливків складної конфігурації, наприклад бічних рам візків вагонів, валків прокатних станів, трубчастих елементів свердловинної запірної арматури, корпусів насосів, часто роблять спеціальні ливарні контейнери, а для разових виливків можуть застосовувати різні металеві ящики, навісивши на їхні стінки гнучкі трубчасті фільтри і загерметизувавши плівкою можливі щілини на стінках (наприклад, щелепних контейнерів). У цих випадках робити елементи донного розвантаження не завжди можливо і не доцільно.

Таблиця 3.2.1

Характеристики опок

Розмір опоки, мм	Маса піску в опоці, кг	Розміри необхідного вібростолу, мм	Продуктивність вакуумного насоса, що рекомендується, м ³ /хв.
720×720×750	1230	1000×900×750	не менше 8
1000×1000×1000	1600	1200×1200×750	12
1500×1000×1000	2400	1500×1500×750	12
2000×1500×1500	7200	1800×1800×750	20
3000×1500×1500	10800	3000×2100×750	20

При великогабаритному литті застосовується віброопока (рис. 3.2.6) яка оснащена клапанами для донного вивантаження піску. Залежно від потреб може виготовлятися із програмованим напрямком вібрації.



Рис. 3.2.6. Віброопока для великогабаритного лиття

3.3 Кантувач гідравлічний KWYF-01

Кантувач гідравлічний (рис. 3.3.1) призначений для захоплення та перекидання залитої опоки на сито вібраційне та вивантаження з неї гарячого піску та вилівки.

Гідравлічний кантувач KWYF-01 складається з рами, механізму фіксації вакуумної опоки, гідростанції, гідроциліндрів фіксації, гідроциліндра перекидання, кінцевих вимикачів.



Рис. 3.3.2. Гідравлічний кантувач KWYF-01

Таблиця 3.3.1

Характеристика гідравлічного кантувача KWYF-01

Параметр	Значення
Вантажопідйомність, кг	8000
Привід кантувача	Гідравлічний
Гідростанція, шт	1
Подача мастила, мах,	33л/хв
Робочий тиск, мах., кг/см ²	110
Об'єм бака, л	120
Встановлена потужність приводу, кВт	7,5
Гідроциліндр поршневий, двосторонньої дії, шт	2
Діаметр поршня, мм	125
Хід штока, мм	800
Кут перевероту, градусів	126
Габаритні розміри кантувача (д×ш×в), мм	1965×1500×2243
Маса, кг	2480

При кантуванні опоки спочатку затискається механізмом фіксації за допомогою двох гідроциліндрів. Положення механізму фіксації контролюється за допомогою безконтактних кінцевих вимикачів, що передають сигнал на PLC, а звідти на гідравлічний розподільник мастильної станції кантувача.

Після фіксації опоки запускається механізм перекидання. Верхнє та нижнє положення опоки при перекиданні контролюються безконтактними кінцевими вимикачами. При кантуванні опоки пісок у певному положенні починає висипатися на просипні ґрати. У крайньому верхньому положенні пісок повністю висипається з опоки разом з виливками. Порожня опока повертається в нижнє положення, після чого механізм фіксації розтискає опоку для пересування.

3.4 Вібростоли

Тривимірний вібростіл (рис. 3.4.1) застосовується для ущільнення формувальної маси (піску), що засипається у вакуумну опоку після установки модельних блоків. Під час вібрації відбувається заповнення порожнин та отворів моделі, що знаходяться в опоці. Вібростіл VS1200 складається зі стаціонарної частини, робочої частини, амортизаторів та вібродвигунів. Він також може комплектуватися затискачами для утримання опоки.

Вібрація створюється за рахунок асинхронних вібродвигунів, що обертаються у протилежних напрямках. Після засипки формувальної маси включаються вібродвигуни. Вібрація спрямована по осях X, Y, Z.



Рис. 3.4.1. Тривимірний вібростіл VS1200

Таблиця 3.4.1

Характеристики вібростолів

Параметр	VS-1200	VS-1500	VS-3000	XYZ			
				5	8	12	20
Вантажопідйомність, т	2	2	3	5	8	12	20
Макс. розмір опоки, мм	1100× 1100	1300× 1300	1900× 1300	1000×1 000×15 00	1300×1 300×18 00	1600×1 600×22 00	2800× 1900× 2500
Розміри вібростою, мм	2000× 2000× 650	3000× 1500× 750	3000× 2000× 750	1200×1 200×75 0	1500×1 500×75 0	1800×1 800×75 0	3000× 2100× 750
Потужність, кВт	6×0,37	6×0,37	6×0,37				

Таблиця 3.4.2

Модель	Вантажопідйомність, т	Розміри вібростою, мм	Максимальні розміри опоки, мм
XYZ-I	5	1200×1200×750	1000×1000×1500
XYZ-II	8	1500×1500×750	1300×1300×1800
XYZ-III	12	1800×1800×750	1600×1600×2200
XYZ-IV	20	3000×2100×750	2800×1900×2500

Тривимірний вібростіл XYZ (рис. 3.4.2) складається із стаціонарної частини, робочої частини, амортизаторів, вібродвигунів та пневматичних фіксаторів. Вібрація проводиться за рахунок шести (на кожному із просторових осей – X, Y, Z) асинхронних вібродвигунів, що обертаються у протилежних напрямках. Працюючи пневматичні захоплення фіксують опоку на робочій частині.

Встановлення опоки на вібростіл можна здійснювати за допомогою вантажопідйомного механізму. Для ефективної передачі вібрації від вібродвигунів до опоки опціонально можливе встановлення пневматичних затискачів. Вібростіл можна встановлювати на механізованій дільниці як окреме обладнання, або вбудовувати в автоматичні формувальні лінії.

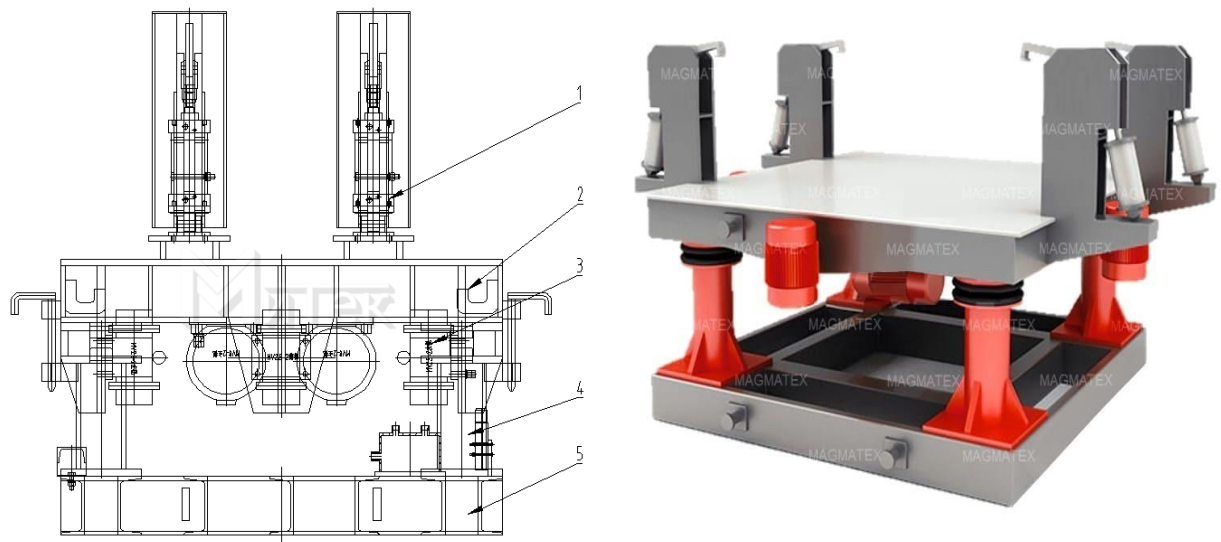
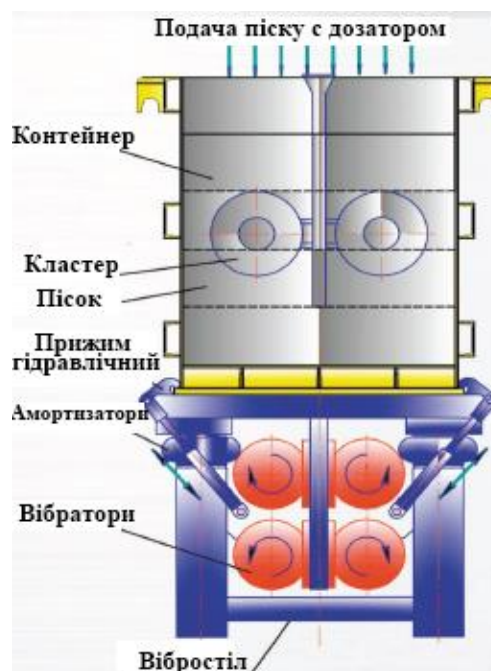


Рис. 3.4.2. Тривимірний вібростіл XYZ:

1 – захоплення; 2 – робоча поверхня столу; 3 – вібродвигуни; 4 – опорні стійки; 5 – станина

Вібростіл складається із стаціонарної частини, підйомної частини, пневматичних подушок, вібродвигунів та пневматичних фіксаторів (рис 3.4.3).

Для прискорення заповнення опоки, при зміні маси піску використовують вібростіл, таким чином щоб зберігається коефіцієнт



прискорення.

Рис 3.4.3. Розташування опоки та вібростолу

Постійність коефіцієнта прискорення (для LF оптимальним є значення $G=1,2-2$) забезпечується системою програмного управління, яка дозволяє в процесі ущільнення піску незалежно змінювати як амплітуду, так і частоту вібрації та запам'ятовувати режими віброущільнення форм для кожного виду

піномоделі. Обов'язковою для якісного віброуцільнення є фіксація контейнера на вібростолі за допомогою гідравлічних притисків для забезпечення оптимальної передачі вібраційних зусиль.

Завдяки параметрам вібратора (частота, амплітуда і вектор прискорення), що змінюються, даний вібростіл дозволяє отримати максимальну плинність піску при ущільненні, і відповідно високий ступінь заповнення кишень піномоделей.

При проектуванні вібростолу, використовуються електровібратори, які кріпляться на корпусі вібростолу. При цьому виконується головна вимога про взаєморозташування вібраторів і дна контейнера. Для амортизації вібраторів встановлюється гума, з товщиною листа 20-30 мм.

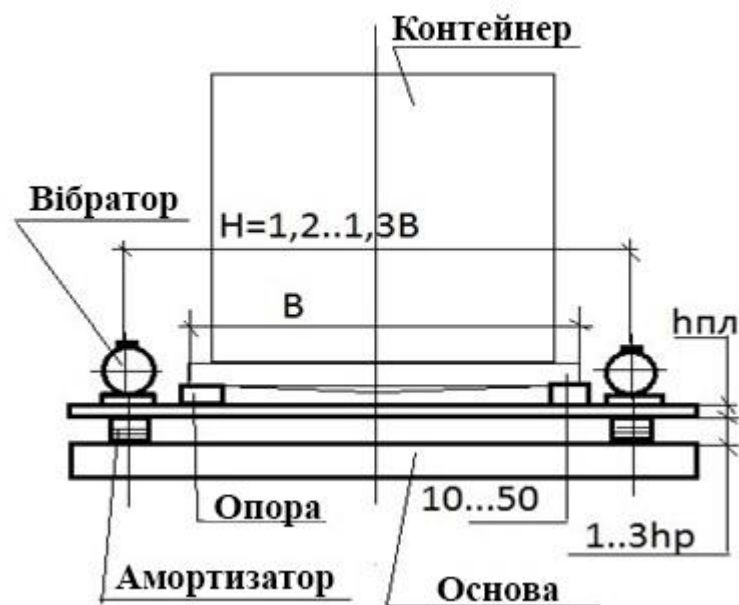


Рис. 3.4.4. Компонування вібростолу

Розташування амортизаторів має бути на осі вібраторів з відхиленням трохи більше 20 мм. Дуже важливо, щоб конструктив елементів з'єднання плити і опори вібростолу через амортизатор виключав можливість безпосереднього контакту між собою. Ще одним важливим елементом вібростолу є опори, наявність яких забезпечує гарантовану передачу вібрації столу до контейнера. У реальному житті дно контейнерів має опуклу форму і при встановленні на плиту вібростолу воно виконує роль амортизатора (подібно до тарілчастої пружини).

Простим та ефективним рішенням є встановлення на плиті опор, у кутових зонах за місцем встановлення дна контейнера. Товщина металу опор вибирається 10-20 мм. за місцем, але при цьому повинен бути забезпечений проміжок між плитою вібростолу і максимумом опуклості дна контейнера близько 10-15 мм.

На рисунку 3.4.4 показано компонування вібростолу з довгого боку дна контейнера. Ширина вібростолу приймається на 10-30% більше ширини дна

контейнера, а відстань між амортизаторами – з коефіцієнтом 0,9 від розмірів стола і 1,1 від розміру контейнера. Для забезпечення ефективності процесу ущільнення піску, електровібратори необхідно перевести в спеціальний двотактний режим Push - pull з частотою віброущільнення 50 Гц. Потужність електровібраторів при цьому має бути збільшена вдвічі від розрахункового значення. Зазначений режим виключає відомі всім резонансні явища в період вимкнення електровібраторів. При необхідності мати горизонтальний вектор віброущільнення, ці електровібратори необхідно перевести у вертикальне положення з кутом нахилу їх осей в 15-17 град.

Нахил необхідний тільки для нейтралізації сил тертя в підшипниках, щоб у момент кожного включення дебаланси електровібраторів завжди знаходилися в одному стартовому положенні. Це забезпечує постійну передбачуваність вектора віброущільнення. Вище вказана модернізація дозволяє отримати технічні характеристики вібростолу кращі ніж деякі відомі розробки при мінімумі витрат коштів та енергії.

Таблиця 3.4.3

Вібростоли для ЛГМ та їх характеристики

Тип продукції	Маса, кг	Розміри, мм	Навантаження, кг	Марка вібратора і кількість	Примусова сила, кН	Потужність, кВт	Ціна \$
ВЛГ-1	800	2000×1000×600	500-1000	ВІ-98, 5 шт.	56,5	5,0	2755
ВЛГ-2	1300	1200×1200×700	1500-2500	ВІ-107, 3 шт.	60	8,1	3260
ВЛГ-3	1200	1300×1300×700	2500-3500	ВІ-107, 4 шт.	80,0	10,8	3815
ВЛГ-4	1800	1800×1800×700	4000-5000	ВІ-107, 4 шт.	80,0	10,8	4770
ВЛГ-5	2000	2000×2000×700	4000-5000	ВІ-107, 4 шт.	80,0	10,8	5168
ВЛГ-6	1500	2000×1500×600	1000	ВІ-98НБ, 4 шт.; ВІ-11-50Н, 2 шт.	67,8	6	3350
ВЛГ-7	1300	2500×2000×600	3000	ВІ-107НБ, 4 шт.; ВІ-20-50Н, 2 шт.	120	16,2	6000
Частота коливань, об/хв	1000-4200						
Амплітуда коливань, мм	0,2-1,0						

3.5 Вібростіл з програмним управлінням та зворотним зв'язком

Більшість ліній дільниць ЛГМ оснащені вібростолами з інерційними вібраторами з приводом від асинхронних електродвигунів та живленням трифазним струмом частотою 50 Гц. На теперешній час сильно зросла конкуренція у ливарному виробництві, і розширився перелік необхідних виливків. Для отримання якісного лиття необхідно змінювати режими та параметри вібрації столу відповідно до параметрів нових виливків та фізико-механічних властивостей ливарних контейнерів.

З метою мінімізації енергетичних та матеріальних витрат вібростоли з розміщеними на них формами (контейнерами) налаштовують для роботи відносно їх власних частот.

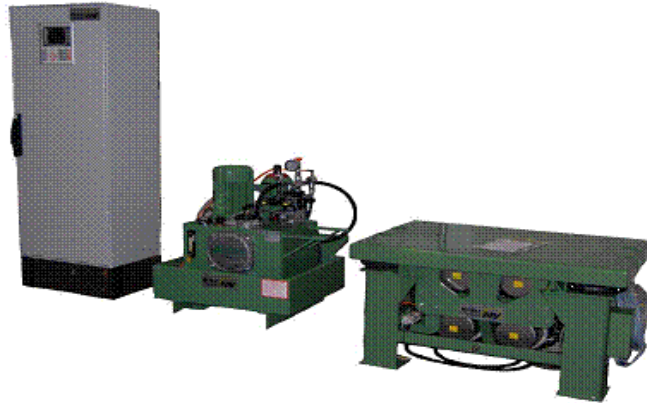
Вібростіл з програмним управлінням (рис. 3.5.1) та зворотним зв'язком може працювати в парі з двоходовою засувкою бункера, призначеної для пошарового засипання піску в опоки і, відповідно до заданої робочої програми, проводити пошарове засипання та ущільнення піску навколо полістирольної моделі в ливарній опоці. Крім того, є можливість плавно змінювати оберти вібраторів та напрямок руху піску, робити запис параметрів для 20-ти робочих програм (кожна робоча програма складається з набору параметрів для «подушки» та «формування»)



Рис. 3.5.1. Програмний вібростіл тунельного типу

Пристрій керування вібростолом VectorDrive

Система програмного управління вібростолом VectorDrive (рис. 3.5.2, табл. 3.5,1) від компанії «Netter» (Німеччина) дозволяє у процесі ущільнення піску незалежно змінювати як амплітуду, і частоту вібрації, запам'ятовувати режими віброущільнення форм. Фіксація опоки на вібростолі за допомогою гідравлічних притисків забезпечує покращену передачу вібраційних зусиль. Завдяки параметрам вібратора (частота, амплітуда і вектор прискорення), що змінюються, вібростіл дозволяє отримати хороше ущільнення і відповідно високий ступінь заповнення пустот піномоделей.



Гідроагрегат

Вібростіл

Рис. 3.5.2. Пристрій керування VectorDrive E09-M29

Таблиця 3.5.1

Характеристика пристрою керування вібростолу VectorDrive E09-M29

Параметр	Значення
Зусилля підйому вібростолу, кг	3000
Напруга на вході, В, Гц	230/400 В, 50 Гц, трифазний
Споживана потужність, кВт	2,2
Система притиску опоки до вібростолу	гідравлічна
Габаритні розміри (д×ш×в), мм	1120×742×670
Маса, кг	50

3.6 Перфорована плита

Перфорована плита (рис. 3.6.1) призначена для заповнення вакуумної опоки піском шляхом зрошення. Плита складається з пластин і шибера з круглими отворами, через які в опоку просипається пісок, пневмоциліндра, кронштейна та ін.. Шибер розташований серед пластин, отвори пневмоциліндра на пластинах і шибері збігаються, і пісок починає просипатись в опоку. Верхня пластина захищає шибер від залипання через велику масу піску, що знаходиться зверху.



Рис. 3.6.1. Перфорована плита

3.7 Спрямоване переміщення і ущільнення піску

Для отримання спрямованих коливань, використовуються пари однотипних вібраторів, встановлені на одній опорній плиті з паралельними валами, що протилежно обертаються (рис. 3.7.1).

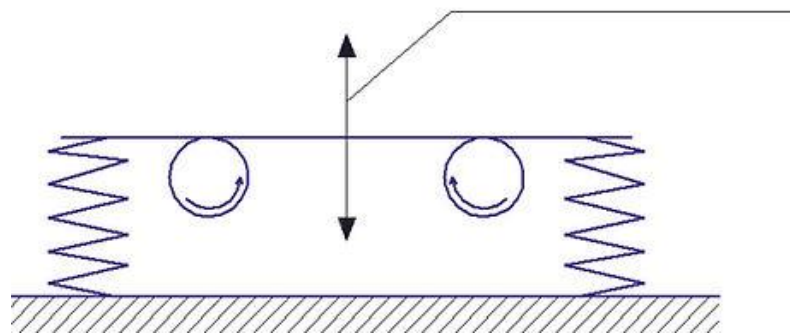
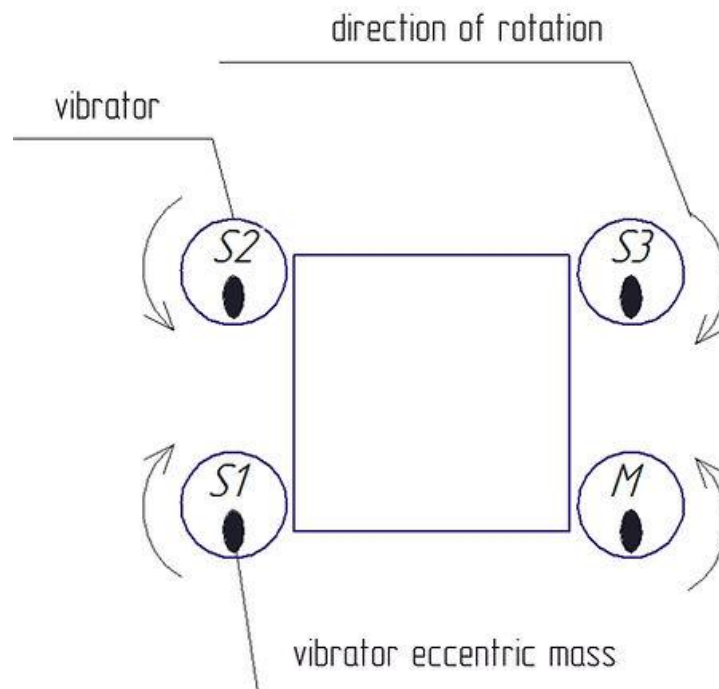


Рис. 3.7.1. Однотипних вібраторі з паралельними валами

За отримання спрямованих коливань в таких системах відповідає явище самосинхронізації вібраторів. Значним мінусом даних систем є неможливість зміни напрямку коливань (напрямок коливань задається під час проектування шляхом розміщення вібраторів у певних місцях).

У вібростолах компанії «АКС», за допомогою зворотнього зв'язку з вібраторами та можливості завдання взаємного положення дебалансів вібраторів один щодо одного, є можливість змінювати напрям коливань (рис. 3.7.2), тим самим досягаючи прилягання піску до найскладніших



полістирольних моделей.

Рис. 3.7.2. Зміна напрямів коливань за допомогою зворотнього зв'язку:

M – провідний вібратор, щодо якого задаються кути неузгодженості;
 S1, S2, S3 – провідні вібратори, для кожного з яких задається кут неузгодженості щодо ведучого.

Кут неузгодженості - це кут випередження або відставання дебалансу веденого вібратора (S1, S2, S3) від дебалансу ведучого вібратора (M).

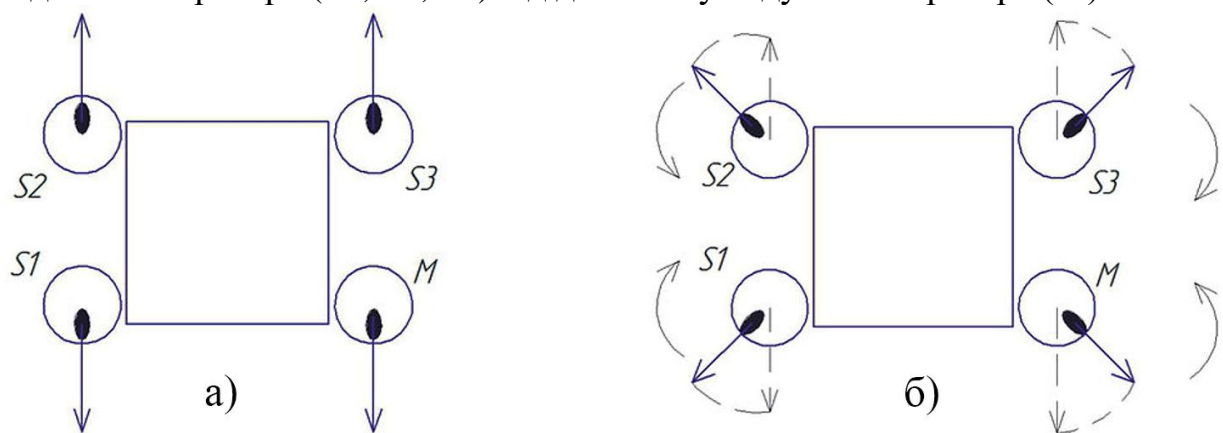


Рис. 3.7.3. Пускові кути неузгодженості для отримання «О» вібрації на вібростолі. Також дані кути використовуються при переході між шарами в рецептах: а) без обертання, б) з обертанням.

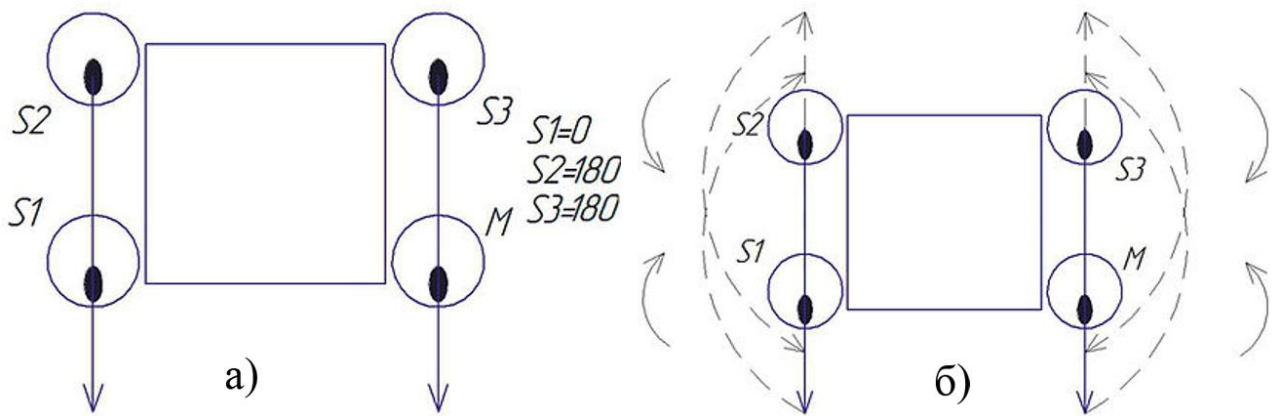


Рис. 3.7.4. Кути неузгодженості для отримання «тах» вертикалі на вібростолі: а) без обертання, б) з обертанням.

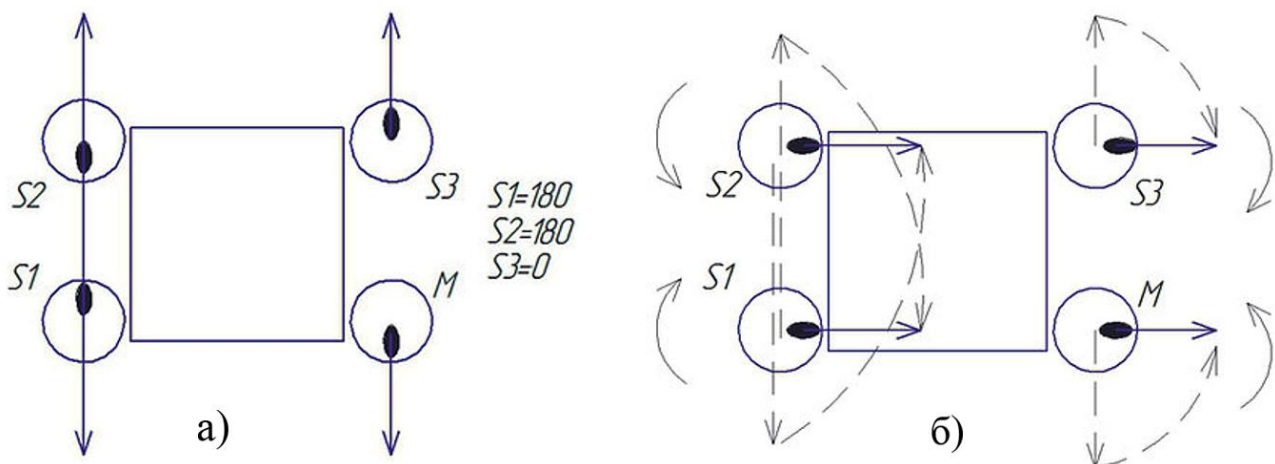


Рис 3.7.5. Кути неузгодженості для отримання «тах» горизонту на вібростолі:
а) без обертання, б) з обертанням.

Отже можливе отримання будь-яких напрямів вібрації, тобто, заповнення та ущільнення найскладніших деталей.

3.8 Вакуумні системи

Вакуумна система типу SK

Вакуумна система (рис. 3.8.1) служить для створення негативного тиску (розрядження) у вакуумній опоці. Основні частини системи - водоциркуляційний вакуумний насос, ресивер, клапани, пиловловлювач, сепаратор, гребінка з гумовими армованими рукавами. З бака води відкриттям відповідних кранів, ємності сепаратора та мокрого пиловловлювача заповнюються на половину.



Рис. 3.8. Вакуумна система типу SK

Таблиця 3.8.1

Характеристики вакуумної системи типу SK

Модель	Виробництво, м ³ /хв	Максимальне розрядження, МПа	Частота, об/хв	Ø трубопроводу, мм	Витрата води, л/хв	Потужність двигуна, кВт
SK-12	6	-0.1	—	—	20-40	11
SK-12	12	-0.1	970	80	40-50	18,5
SK-20	20	-0.1	730	108	60-80	30
SK-30	30	-0.1	730	135	70-100	55
SK-40	40	-0.1	730	140	80-115	75

Під час роботи насоса здійснюється циркуляція води від ємності сепаратора до насоса і назад у сепаратор як крапель. Вода створює герметичний прошарок між імперелером насоса та його корпусом. Повітря безперервно відкачується з опок. При цьому дрібна фракція, що пройшла крізь дрібну сітку опоки, осідає у воді пилоловлювача.

Вакуумний ресивер акумулює негативний тиск, що дозволяє підтримувати розрядження навіть при вимкненому насосі. Якщо опока герметична, а плівка лежить рівно, то ресивер дозволить утримувати рівень розрядження ще кілька хвилин.

Вакуумні опоки вручну підключаються до гребінки системи через армований рукав. Гребінка у стандартній комплектації має від 2 до 8 висновків, кожен з яких оснащується ручним регульовальним клапаном-метеликом. При заливці металом полістирольна модель згоряє, при цьому газу

відводяться вакуумною системою і проходять через пиловловлювач мокрого типу. В результаті цього продукти деструкції полістиролу осідають, і очищене повітря надходить у насос. Попереднє очищення газів, що відходять, захищає імPELLер насоса від заростання, а також покращує екологічну обстановку в цеху. Вакуумний ресивер, що поставляється в комплекті з вакуумною системою, відіграє роль акумулятора негативного тиску, за рахунок чого при вимкненому насосі розрядження в опоці підтримується протягом 1-5 хв, залежно від стану поліетиленової плівки.

Таблиця 3.8.2

Технічна характеристика системи, що аналогічна SK-12

Параметр	Значення
Насос вакуумний водокільцевий ВВН 1-12, шт.	1
Кількість води, що подається в насос, л/хв	23
Продуктивність насоса, м ³ /хв	12,2
Установча потужність, кВт	30
Об'єм повітрозбірника, м ³	5
Габаритні розміри (д×ш×в), мм	17000×5000×4820
Маса, кг	920

Вакуумна система вмикається за 30 секунд до початку заливки та вимикається через 30 секунд після заливки. Рівень розрядження залежить від конфігурації виливків і вибирається в діапазоні -0,03 -0,06 МПа. Час витримки виливків в опоці до вибивання залежить від матеріалу сплаву, маси залитого металу, товщини стінки виливки.

При розрахунку вакуумної системи дільниці цеху ЛГМ передусім виходять із її функціонального призначення – чи виконуватиметься формування і заливка, пневмотранспортування формувального матеріалу (піску), застосування роботи модельних напівавтоматів, тобто функціонал роздільний для всіх технологічних майданчиків або загальний. Це зазвичай залежить від річної продуктивності дільниці ЛГМ та організації виробничого процесу. Порядок і правила розрахунку пневмотранспорту всмоктуючого типу (вакуум-транспортна система) наведені в підручниках і довідниках [1], а попередні та наближені розрахунки вакуумних систем формувально-заливальної дільниці (ФЗД) ЛГМ можна вести за даними, наведеними в [2-4].

Певна складність розрахунків викликана відсутністю єдиних довідкових чисельних характеристик фізико-хімічних, термо- і газо-гідродинамічних процесів, необхідних для визначення швидкості деструкції ППС моделі, утвореного обсягу газів з урахуванням газової взаємодії цих продуктів деструкції з формувальним матеріалом, що піддається вакуумуванню.

Багатофакторність змінюваних параметрів, що ускладнюють процес розрахунків, демонструється наступним прикладом. Якщо пористість ущільненого формувального кварцового піску становить 35-38% [4], то не

ясно, як змінюватиметься площа міжзернового перерізу (як газового каналу) при конденсації парів газу на поверхні кварцу. Моделі з однієї марки ППС при литті сплавів із різними температурами газифікуються по-різному, створюючи різні тиск та обсяг газів деструкції за одиницю часу.

Крім цього відбувається зменшення часу за рахунок термічного розширення зерен піску, що також змінює загальну площу прохідного перерізу формувального матеріалу. Одночасно, у міру переміщення газів в товщі піску, відбувається його охолодження, що викликає відповідне зменшення об'єму газів, що виходять переважно із зазору між дзеркалом рідкого металу, що заливається, і твердою частиною ППС моделі при її термодеструкції.

За законами гідродинаміки під час обтікання тіла швидкість поточної рідини або газу на поверхні тіла дорівнює нулю. У міжзерновому просторі з порами, що становлять мікрометри, опір течії газу також залежить від шорсткості і незграбності зерен, їхнього фракційного складу. Шорсткість газових каналів під час ЛГМ – величина не постійна, тому що навколо піщинок утворюється «сорочка» зі сконденсованих продуктів випаровування ППС. Крім цього, за рахунок вакууму рідка складова деструкції ППС проникає до 60 мм вглиб піску форми, також зменшуючи площу проходу газів. За багаторазового обігу піску піщинки вкриваються вуглеводневими та сажистими плівками, очищення від яких виконують в установках терморегенерації піску.

Вищенаведені аргументи враховують під час закладання запасу продуктивності вакуумних насосів у відкачувальних системах формувально-заливальних ділень ЛГМ.

Основним критерієм вибору вакуумного насоса є необхідна продуктивність і величина вакууму на виході з ливарної форми або одночасно вакуумованих форм.

Якщо виробництво проектується для отримання виливків із алюмінієвих сплавів, то ступінь розрідження, створюваного насосом в опоці-контейнері, має бути близько 400-460 мм рт. ст., для виливків із чорних металів – 150-200 мм рт. ст. Проведені дослідження показали, що температура газів деструкції в зазорі між дзеркалом металу і моделлю може досягти до 1/2 температури металу, що заливається і, далі переміщаючись, на виході з контейнера може мати від 1/5 до 1/4 температури металу.

Для розрахунку обсягу газів, що відсмоктуються, необхідно виходити із законів збереження маси і енергії, термо- і гідро-газової динаміки, тепломасопереносу.

Взаємозв'язок обсягу газу V , тиску P та температури T виражається формулою [2]:

$$P \cdot V = n\mu RT,$$

де $n\mu$ – число молей обсягом V при температурі T і тиску P ;

$$R = k \cdot N,$$

де k – коеф. – Постійна Больцмана, N – Число молекул в 1 грам-молекулі.

Виходячи з цього, можна використати формулу:

$$\frac{P*V}{T} = \text{Const. (Закон Бойля-Маріотта)}.$$

Знаючи температуру металу, що заливається, масу ППС моделі і використовуючи вищенаведені температури при ЛГМ, визначають обсяг газів V на виході з ливарної форми. Далі розрахунок усієї вакуумної системи можна вести за формулами з робіт [1, 2, 5].

3.9 Вибір насоса та елементів вакуумної системи

Виходячи з призначення вакуумної системи – роздільної за технологічними майданчиками або загальною на весь виробничий цех ЛГМ, розраховуються показники потрібного насоса/насосів. Найбільш оптимальним за економічними, експлуатаційними характеристиками є застосування сухих кільцевих або водокільцевих вакуумних вітчизняних насосів серії ВВН або HRB (Корея, Hwahghae Electric). Застосування сухих вакуум-насосів вимагає менше площ без наявності системи водопідготовки та водообігу або водоживлення, але погано стикується з системою утилізації газів, що відкачуються, з продуктами деструкції ППС. Кількість частинок формувального матеріалу (піску) у газі, що входить в насос, повинна бути гранично мінімальною, що вимагає ускладнення елементів пилоловлення вакуумної системи, проте в цілому застосування сухих насосів, як при монтажі, так і при експлуатації, менш витратне.

Водокільцеві вакуумні насоси (ВВН) для своєї роботи вимагають наявності системи водопідготовки та водопостачання. Найбільша ефективність вони досягається при використанні води з температурою нижче +30°C. Іншою особливістю їх роботи є наявність води в газі, що викидається насосом, що ускладнює роботу стоять (як правило) за ними установок каталітичного допалу газів з продуктами деструкції в процесі приведення газів, що викидаються в атмосферу, до санітарно-екологічних норм – ГДК. Вода при роботі ВВН нагрівається, що знижує їхню продуктивність, а також при досягненні температури +55°C мінеральні включення з води починають випадати в осад.

З метою економії бажано створювати закриті замкнуті системи водопостачання, що спочатку заповнені дистильованою водою. Водойми відкритих систем, особливо розташованих поза цехом, влітку зеленіють, що потребує їх регулярного очищення. Зрозуміло, цих проблем можна було б уникнути, використовуючи поршневі, золотникові, роторно-пластинчасті насоси. Але цього не можна робити, тому що у всіх цих насосах є масло, а гази, що відкачуються при виході з ливарної форми мають температуру набагато вище +100 °C. Олія в таких насосах якщо не горить, то коксується і, крім того, пари олії, що сконденсувалися на вхідному трубопроводі - теж джерело займання.

Обов'язковим елементом вакуумної системи ФЗД є вакуумний акумулятор (ВА). Конструкції акумуляторів, розроблені у ФТІМС, ємністю 1-3 м³, мають захисні елементи у вигляді запобіжних пластин та зворотних

клапанів, що дозволяє легко виконувати роботи з їх очищення. Визначення товщини стінки ВА здійснюється за формулою [2]:

$$S = 0,47 \frac{D}{100} \left(\frac{P_p}{10^{-6} * E} * \frac{l}{D} \right)^{0,4} + C,$$

де D – внутрішній діаметр обичайки, див; P_p – тиск розрахунковий, кг/см²; E – модуль поздовжньої пружності матеріалу за 20 °С, кг/см²; C – поправочний коефіцієнт (утонення стінки при експлуатації); l – довжина обичайки, див. Основне призначення ВА – забезпечення плавності роботи вакуумного насоса.

Пропускню здатність трубопроводу визначають за формулою [2]:

$$U_T = 12,1 \frac{d^3}{l}, \text{ л/с,}$$

де d - діаметр трубопроводу, см; l – довжина трубопроводу, см.

Необхідно прагнути, щоб він відповідав продуктивності насоса та мав менше вигинів.

Нижче наведено схема вакуумної системи (рис. 3.9.1).

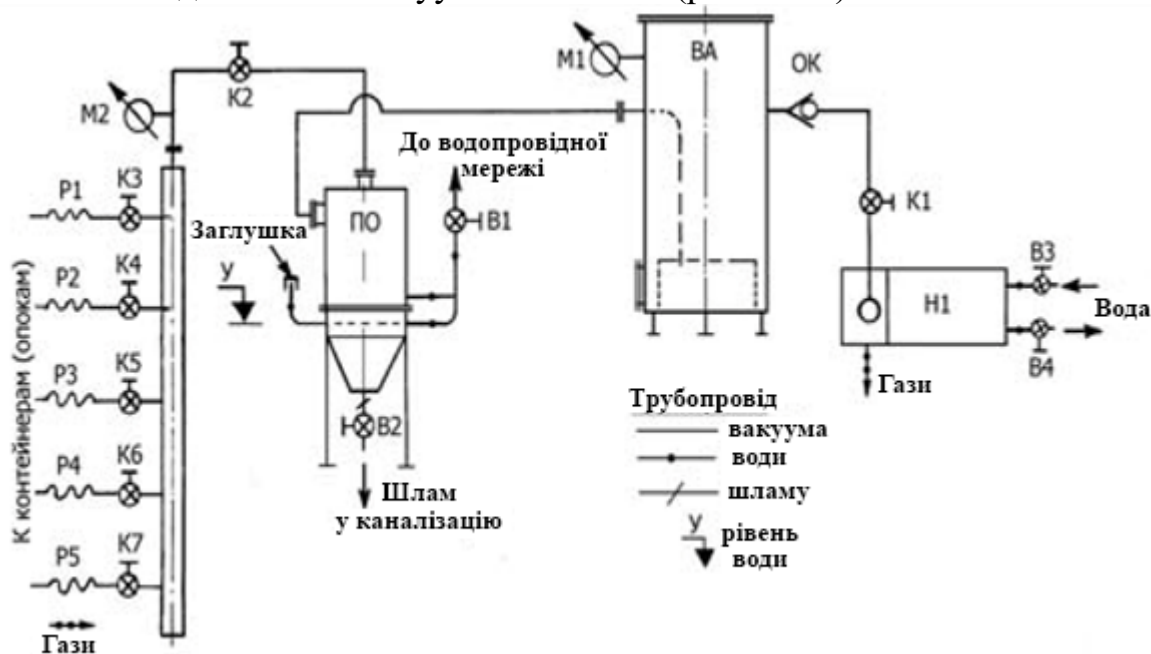


Рис. 3.9.1. Вакуумна система формувальних ділянок $Q \leq 12$ м³/хв: де Н1 – насос ВВН; ОК – зворотний клапан; ВА – вакуумний акумулятор; М1, М2 – вакуумметр 0-1; ПО – пилоосаджувач; К1 – К7 – краникульові; В1 – В4 – вентиля; Р1 – Р5 – рукави; В1 – В12 – вентиля.

Усі стінки мають бути герметичними. Падіння тиску в мережі трохи більше 0,05 атм. (Контроль за М1).

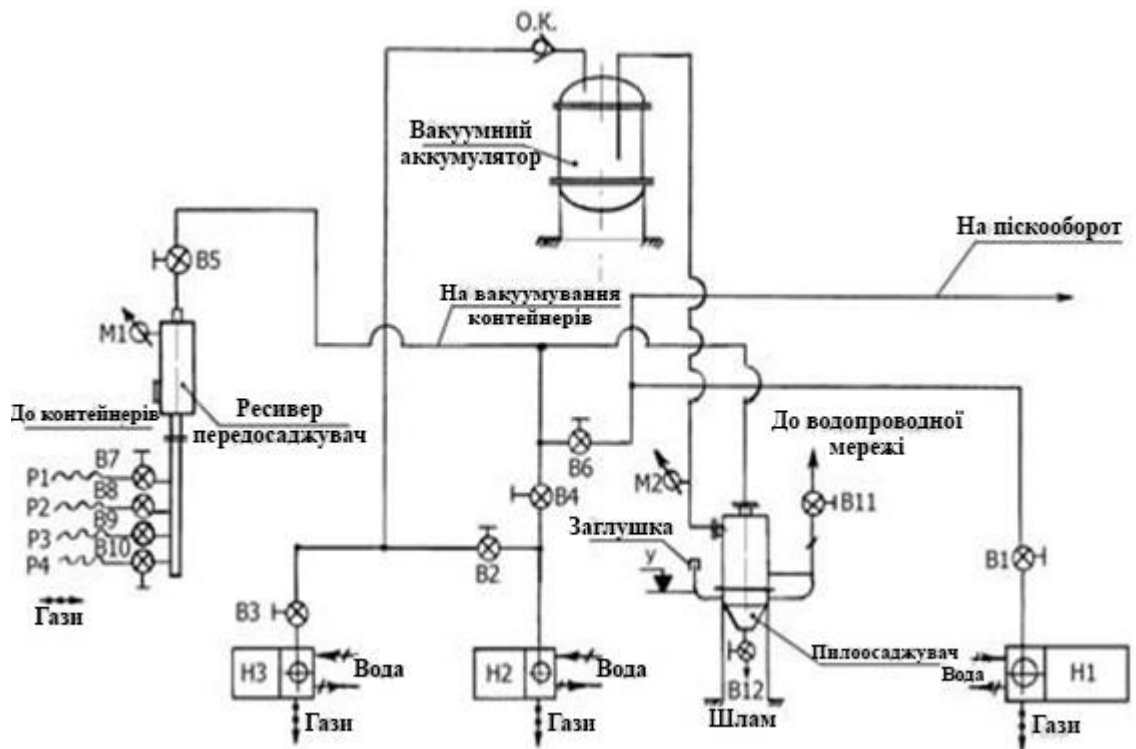
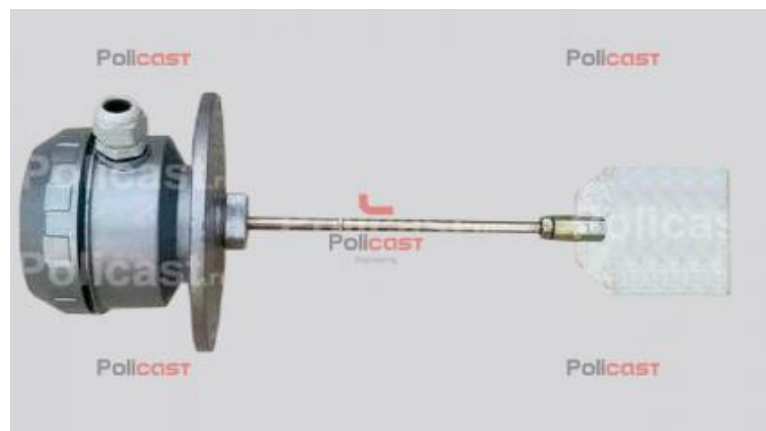


Рис. 3.9.2. Вакуумна система ФЗД та піскопідготовки $Q \leq 50 \text{ м}^3/\text{хв}$: Н1-Н3 – водокільцеві вакуумні насоси; М1, М2 – манометри; Р1-Р4 – рукави; В1-В12 – вентилі; ОК – зворотний клапан.

3.10 Бункери та датчики

Датчик рівня С181-2 (рис. 3.10.1) призначений для контролю рівня піску у проміжному та робочих бункерах. У міру зростання рівня піску в бункерах, прапорець який встановлений в датчику починає присипатися піском, передаючи сигнал на PLC, що у бункері є певний рівень піску. На кожному бункері встановлено по 2 датчики рівня піску: нижній та верхній. Верхній датчик рівня має довгу частину, що обертається і встановлюється вертикально, нижній датчик рівня має коротку частину, що обертається і встановлюється



горизонтально.

Рис. 3.10.1. Датчик рівня С181-2

Робочий бункер KWSK25-25-25 (рис. 3.10.2) у технологічному ланцюжку чорного цеху здійснює накопичення та зберігання піску. Завантаження бункера відбувається зверху через елеватор, а вивантаження через шнек. Бункер може бути оснащений датчиком рівня.



Рис. 3.10.2. Робочий бункер KWSK25-25-25

Шнек робочого бункера Y3150 (рис. 3.10.3) здійснює подачу піску з бункера, тим самим здійснює транспортування та заповнення опоки (формування) формувальною масою.



Рис. 3.10.3. Шнек робочого бункера Y3150

Для накопичення гарячого піску використовується силос, показаний на рисунку 3.10.4.



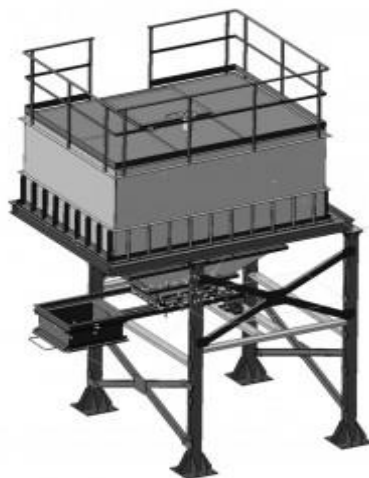
Рис. 3.10.4. Силос для гарячого піску

Таблиця 3.10.1

Технічна характеристика силосу

Параметр	Значення
Об'єм бункера, м ³	9,8
Габаритні розміри (д×ш×в), мм	3264×2583×8052
Маса, кг	2450

Для пошарового та рівномірного заповнення опоки формувальним піском може використовуватися вбудова засипки піску у контейнер (рис.



3.10.5)

Рис. 3.10.5. Стационарний бункер

Вбудова складається із стаціонарного бункера з шиберним затвором для регулювання потоку піску і короба пересувного, що здійснює дозовану подачу формувального піску в опоку. Спочатку пісок із стаціонарного бункера заповнює дозатор короба, а коли шиберний затвор перекриває вихідний отвір бункера, короб переміщується на позицію опоки. Відкривається шиберний затвор дозатора, пісок висипається і утворює в опоці певний шар. Нижній шар утворює «ліжка», на яке встановлюють куш із моделями. Для повного заповнення опоки формувальним піском пересувний короб повинен наїжджати на опоку кілька разів. Під час заповнення опоки піском оператор змінює параметри вібрації для оптимального ущільнення.

Таблиця 3.10.2

Технічна характеристика стаціонарного бункеру

Параметр	Значення
Корисний обсяг бункера формувального, м ³	6
Об'єм короба пересувного, м ³	0,16
Привід пересувного короба	Мотор-редуктор SITIMNHL 25/2 B3 21,94/1 19/200 B5 Shell 220
Потужність двигуна (ном.), кВт	1,1
Привід шиберного затвора	Пневмоциліндр 27M2A32A0100-UA01
Діаметр циліндра, мм	32
Хід циліндра, мм	100
Габаритні розміри (д×ш×в), мм	3200×3700×5170

3.11 Елеватори

Елеватор призначений для підйому піску, що пройшов через шафу охолодження, до проміжного бункеру та з проміжного бункера до стрічкового транспортера. Елеватор складається з верхньої та нижньої головок, механізму натягу, приводу, ковшів та стрічки.

У стрічковому елеваторі D160 (рис. 3.11.1) ковші змонтовані на стрічці. Ковші з піском піднімаються нагору і розвантажуються через верхню головку. Для обслуговування та контролю положення ковшів на кожухах елеватора передбачені оглядові вікна.



Рис 3.11.1. Стрічковий елеватор D160

Таблиця 3.11.1

Характеристика стрічкового елеватору D160

Параметр	Значення
Потужність електродвигуна, кВт	5,5
Продуктивність, т/год	10
Ширина ковша, мм	160
Швидкість транспортування, м/с	1,25
Маса, кг	2500

Висота та заглиблення елеватора розраховуються індивідуально.

Ланцюговий елеватор ТН160 використовується для транспортування гарячої формувальної маси (піску) після віброгрохоту в шафу охолодження. Висота елеватора та рівень заглиблення також розраховується індивідуально для кожної лінії ЛГМ.



Рис 3.11.2. Ланцюговий елеватор ТН160

Таблиця 3.11.2

Характеристика ланцюгового елеватору ТН160

Параметр	Значення
Потужність електродвигуна, кВт	5,5
Продуктивність, т/год	10
Ширина ковша, мм	160
Швидкість транспортування, м/с	1,25
Маса, кг	2300

Ланцюговий елеватор має аналогічні технічні характеристики і вузли, що і елеватор D160, але ковші в ньому змонтовані на ланцюгу.

На основі звичайного елеватора відповідно до необхідності автоматизації лінії додано пристрій контролю та сигналізації функціонування обладнання, наприклад, якщо під час роботи елеватора виникнуть проблеми, система сигналізації відразу відправить сигнал у систему контролю PLC, вся лінія піскообігу зупиниться, неполадка відобразиться на індикаційній панелі шафи управління. При нормальній роботі елеватора ковші з піском піднімаються нагору і розвантажуються через верхню головку. Для обслуговування та контролю положення ковшів на кожухах елеватора передбачені оглядові вікна. При монтажі елеватора необхідно приділити особливу увагу стиковці кожухів: по сполучних фланцях необхідно прокладати азбестовий шнур.

3.12 Рольганги для транспортування ливарних контейнерів

Рольганги приводні є приводним роликівим транспортером для переміщення ливарних контейнерів (опок) між дільницями технологічного циклу (рис 3.12.1).

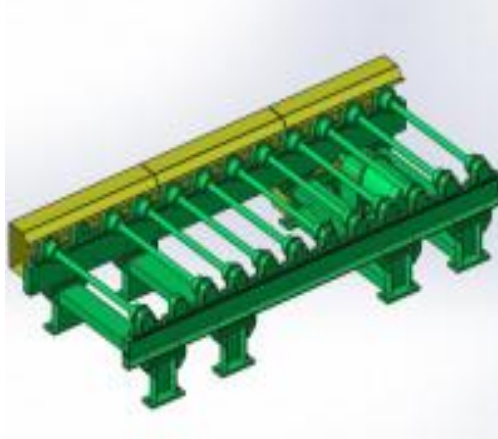


Рис 3.12.1. Рольганг для транспортування

Таблиця 3.12.1

Характеристики рольгангу

Параметр	Значення
Вантажопідйомність, кг	5000
Ширина рольгангу по ребордах, мм	935
Діаметр ролика, мм	100
Швидкість переміщення вантажу, м/хв	5,65
Привід рольгангу	Мотор-редуктор ЗМП-50-22, 4-570-110У3; 380 Ст.
Потужність двигуна, кВт	1,5
Габаритні розміри (д×ш×в). мм	3000×1279×602
Маса, кг	880

Для передачі опок з однієї рольгангової лінії на іншу і для переміщення опок в кантувальник, застосовується візок трансбордерний (рис. 3.12.2).

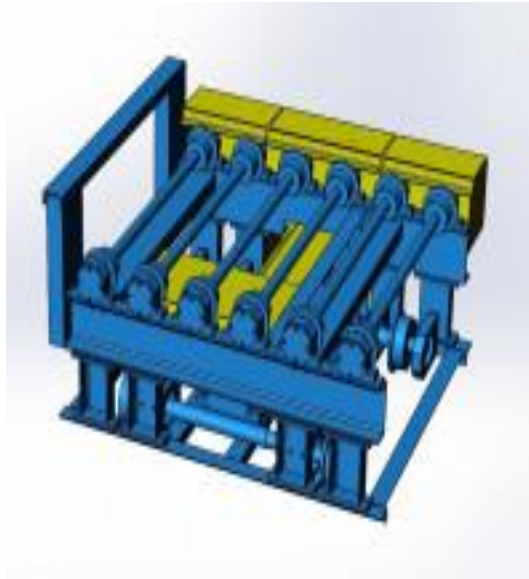


Рис. 3.12.2. Візок трансбордерний

Таблиця 3.12.2

Характеристика візка трансбордерного

Параметр	Значення
Вантажопідйомність, кг	3000
Ширина коліс візка по ребордах, мм	796
Діаметр колеса, мм	160
Швидкість пересування візка, м/хв.	18
Привід візка	Мотор-редуктор ЗМП-50-35,5-570-110У3; 380 Ст.
Потужність двигуна, кВт	2,2
Ширина візка по ребордах, мм	935
Діаметр роликів, мм	100
Привід рольгангу візка	Мотор-редуктор ЗМП-50-22, 4-570-110У3; 380 Ст.
Потужність двигуна, кВт	1,5
Габаритні розміри (д×ш×в), мм	1300×1260×593
Маса, кг	700

3.13 Просипна решітка

Просипну решітку (рис. 3.13.1) використовують для відділення формувального піску від виливків з первинним просіюванням у технологічному ланцюжку чорного цеху ЛГМ.

Складається із рами, жорстко закріпленої на фундаменті. Поставляється в комплекті з приймальним бункером, оснащеним пневматичним шиберним затвором. Дана просипна решітка може бути встановлена над віброгрохотом.

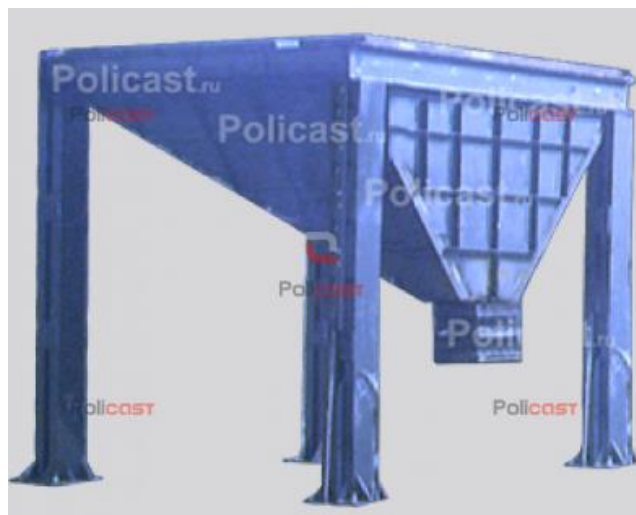


Рис. 3.13.1. Просипна решітка FL-02

Пневматичний шибер призначений для замикання приймального бункера просипної решітки. Потік піску регулюється заслонкою (шибером). Дана просипна решітка може використовуватись для рівномірного розподілу піску обсягом опоки при формуванні, або між просипною решіткою та віброгрохотом. Шибер з пневматичним приводом ZM200 використовується для затримання або подачі формувальної маси між обладнанням.

Функціональне застосування отримало вібраційне сито колосникового типу (рис. 3.13.2) для просіву формувального матеріалу із залитих опок та відділення виливків від формувального піску. З опоки пісок висипається на сито, під впливом вібрації, проходить через нього і потрапляє до віброгрохоту, а виливок – у кубель для виливків.

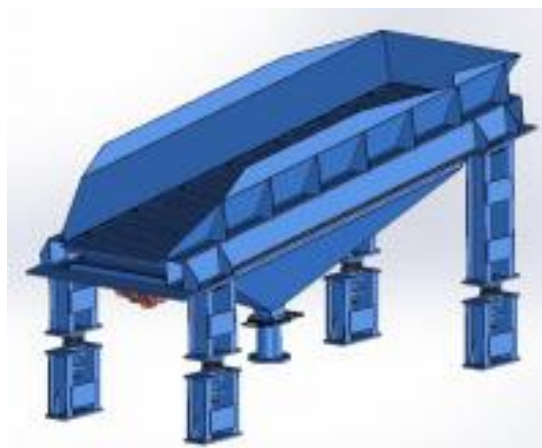


Рис. 3.13.2. Вібраційне сито

Регулювання величини примусової сили вібратора здійснюється шляхом зміни взаємного розташування крайніх дисбалансів на обох кінцях валу. Парні дисбаланси повинні бути розвернуті на однаковий кут. При правильному встановленні вони симетричні щодо вертикалі.

Таблиця 3.13.1

Технічна характеристика вібраційного сита

Параметр	Значення
Продуктивність, т/год	6
Привід сита	Вібратор ІВ-11-50
Кількість вібраторів, шт.	2
Споживана потужність, кВт	0,97
Габаритні розміри (д×ш×в), мм	3704×382×2050
Маса, кг	1950

Для усунення пиловиділення із зони перекидання опок встановлюються укриття для вібросита (рис. 0000), яке під'єднується до цехової вентиляційної



системи.

Рис. 3.13.3. Укриття для вібросита

Таблиця 3.13.2

Технічна характеристика укриття

Параметр	Значення
Габаритні розміри (д×ш×в), мм	4920×2030×4465
Маса, кг	1040

3.14 Вібротранспортер

Просіяний пісок за допомогою вібротранспортера (рис. 3.14.1) подається в охолоджувач. Виливок залишається на просипній решітці, а пісок просівається через пакет сит і надходить у проміжний бункер вібророзсіювача. Шлак, сміття, що залишилося на ситах, транспортується на вихідний лоток, а виливок надходить у приймальну тару. Для видалення пиловиділень над вібророзсіювачем встановлений приймальний бункер. Приймальний бункер підключається за допомогою повітроводів до системи аспірації.



Рис. 3.14.1. Вібротранспортер

3.15 Віброгрохот моделі DSZ20300

Віброгрохот моделі DSZ20300 призначено для очищення піску від великих сторонніх включень через сито, та транспортування його до ланцюгового елеватора, а також відведення тепла від формувальної маси.

Частинки фарби з виливків, великі включення та скрап проходять через отвори просипної решітки і потрапляють на сито. Вони рухаються по вібраційному ситі і розвантажуються окремим жолобом у встановлену тару. Просіяний пісок, пройшовши сито, розвантажуються в нижню головку елеватора для підйому. У місці пересипки встановлюється витяжний зонт для відведення пилоподібної фракції.

Віброгрохот (рис. 3.15.1) складається з наступних частин: корпусу 1 з листового матеріалу, вібродеки 2 з однією або двома сіточними полотнами і фартухом. На вібродеку встановлюється електровібратор 3. Вібрація генерується двома асинхронними вібродвигунами, що обертаються у різних напрямках. Вібродвигуни встановлені під кутом до горизонту, що забезпечує спрямований рух піску та відсіяних включень. Дека має задню еластичну опору 4 і передню шарнірну 7. Нижче фартуха деки знаходиться воронка, з якої подається просіяна піщана суміш, яка приєднується до витяжної вентиляційної системи для відсмоктування пилоподібних частинок, які з-за вібрації деки і удару частинок піску об лійку піднімаються вгору і йдуть в систему відсмоктування і осадження до лінії регенерації. Амплітуда та зусилля вібрації регулюються розведенням (взаємним розташуванням) вантажів дебалансів вібратора.

Екологічну безпеку експлуатації вібросити забезпечує те, що одночасно з видаленням великих включень з піску, що просівається, здійснюється вентиляція з видаленням пилоподібної складової без попадання її в навколишню атмосферу.

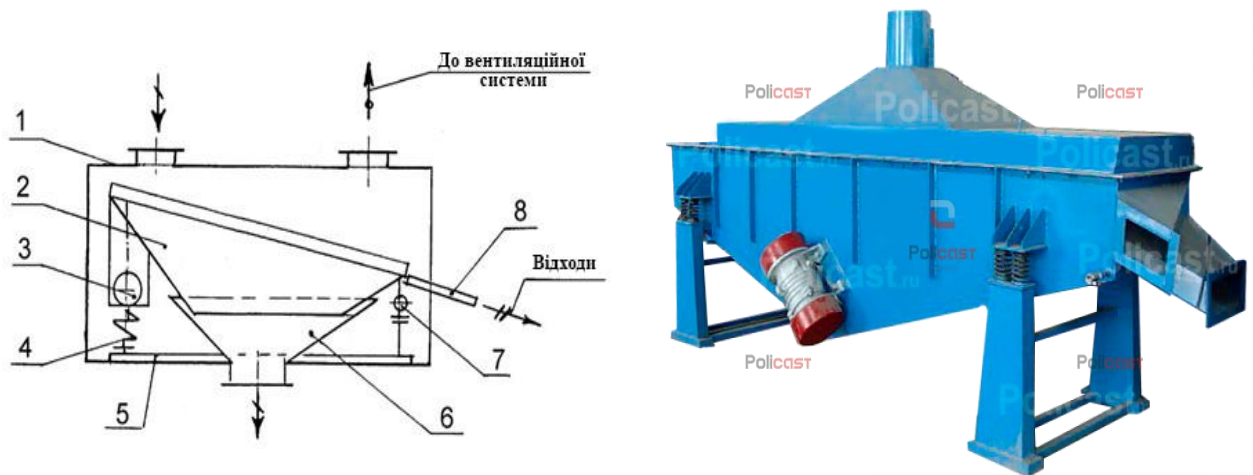


Рис. 3.15.1. Віброгрохот: 1 – корпус; 2 – вібродека; 3 – електровібратор;
4 – пружини; 5 – станина; 6 – воронка;
7 – шарнірна опора; 8 - лоток

3.16 Магнітний сепаратор

Магнітно-повітряний сепаратор FX10В призначений для уловлювання дрібних металевих включень, а також для відокремлення від основної частини піску дрібної (пилоподібної) фракції. Сепаратор встановлюється перед шафою охолодження. Завантаження піску здійснюється зверху. Пісок самопливом попадає на похилі пластини, що утворюють між собою зони пересипань. При пересипанні піску з пластини на пластину дрібна фракція витягується пиловловлюючою системою. Після похилих пластин пісок потрапляє на барабан, що обертається. Усередині барабана змонтовано постійні магніти, положення яких можна регулювати за допомогою зовнішнього важеля.

Магнітне поле, створюване постійними магнітами в секторі 130-150°, притягує до поверхні барабана, що обертається металеві магнітні частинки.

Схема сепаратора представлена на (рис. 3.16.1).

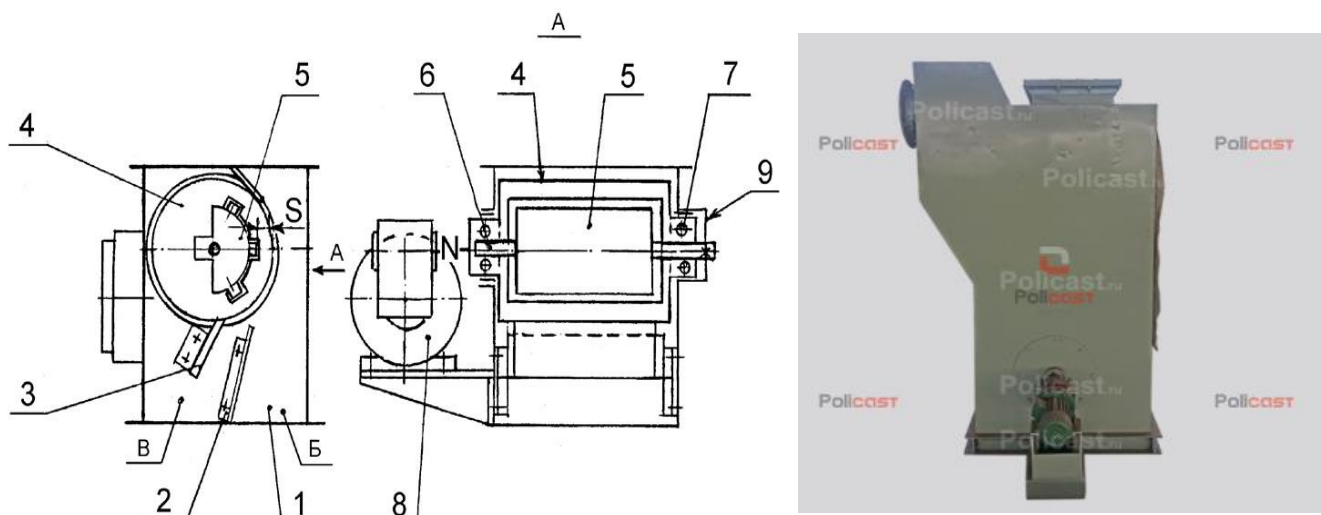


Рис. 3.16.1. Магнітний сепаратор

Магнітний сепаратор складається з корпусу 1 прямокутної форми з бортами зверху та знизу. Перегородка 2 ділить нижню частину корпусу на два канали - Б і В. У нижній частині скребок 3 відокремлює утримувані магнітним полем на барабані частинки і скидає в канал, а очищена піщана суміш проходить через канал Б. У корпусі на опорах 6 і 7 кріпляться внутрішні частини 4 і 5, барабан 4 через підшипники встановлений у корпус 1. Один кінець барабана через муфту з'єднаний з приводом 8, за допомогою якого обертається. Усередині барабана на підшипникових вузлах встановлена магнітна система 5. Між барабаном 4 та магнітною системою є повітряний зазор. Кутове положення магнітної системи щодо (вид А) корпусу 1 обертанням навколо горизонтальної осі регулюється настановним вузлом 9.

Конструкція опорних вузлів запобігає контакту стінки барабана з магнітною системою. Повітряний зазор S між барабаном та магнітною системою, шляхом зменшення теплопередачі захищає магнітну систему від перегріву при сепаруванні нагрітого формувального піску, та оберігає від розмагнічування, що дозволяє піддавати магнітній сепарації відразу висипану з форми піщану суміш при високій температурі на етапі операції вибивання форми.

Таблиця 3.16.1

Характеристика магнітно-повітряного сепаратору FX10B

Параметр	Значення
Встановлена потужність, кВт	0,75
Продуктивність, т/год	10
Продуктивність системи пиловловлення, м ³ /год.	1000
Швидкість обертання барабана, м/с	0,6-0,8

3.17 Стрічковий магнітний сепаратор

Стрічковий магнітний сепаратор являє собою замкнуту в кільце стрічку. У середині кільця стаціонарно встановлено електромагніт. Стрічковий магнітний сепаратор встановлюється над транспортними системами. Електромагніт притягує металеві включення до стрічки. Стрічка сепаратора рухається і виводить з магнітного поля притягнуті феромагнітні включення, які висипаються в тару, що окремо стоїть.

Характеристика стрічкового магнітного сепаратора MLT 400 представлена в таблиці 3.17.1

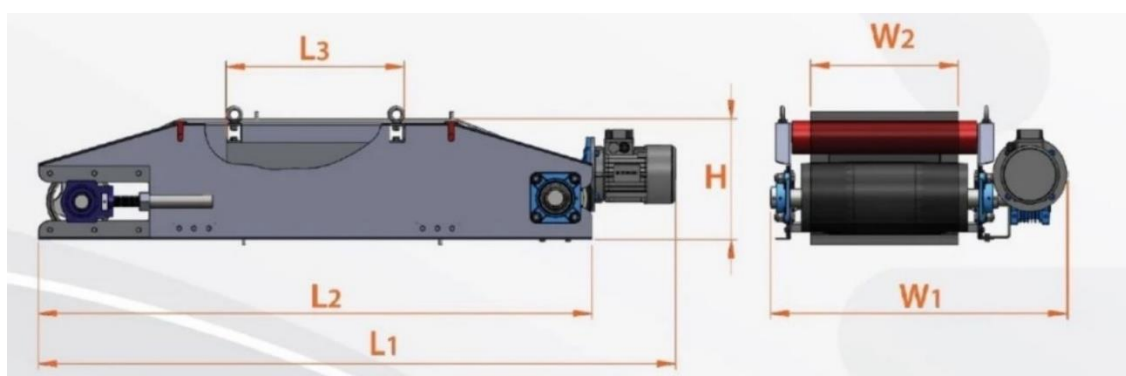


Рис. 3.17.1. Стрічковий магнітний сепаратор MLT 400

Таблиця 3.17.1

Модель	Розміри						Функціональна висота
	L1	L2	L3	W1	W2	H	
MLT 400	1730	1500	483	800	400	330	100
	2250	2063	982			285	
	2750	2563	1447	785			

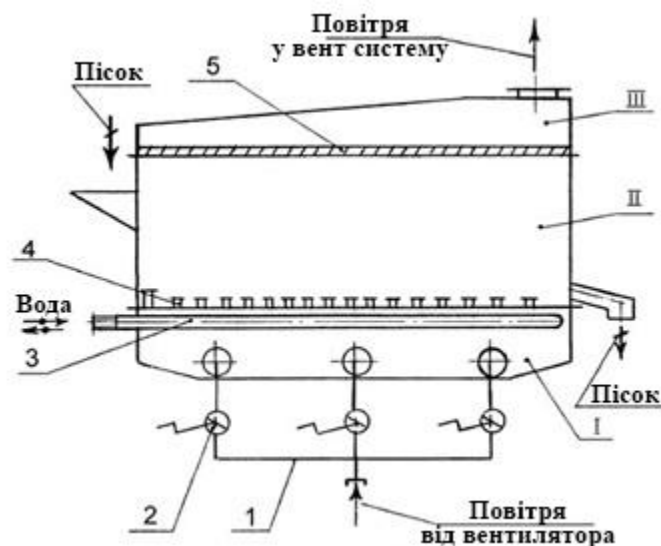
3.18 Охолодження та регенерація піску

Для сипких формувальних сумішей найбільш прийнятний спосіб охолодження в псевдозрідженому шарі. Шар складається із частинок кварцового піску і потоку повітря, створюючи інтенсивне перемішування, та нагадує «в'язку киплячу рідину». При відповідних температурах і газових складових такий шар імітує теплопровідні, ізотермічні та дифузні властивості рідких середовищ, створюючи в установках прохідного типу умови для отримання рівномірного охолодження теплообміном з повітряним потоком за рахунок примусової конвекції.

На рис. 3.18.1 показаний технологічний елемент охолоджувача в псевдозрідженому шарі продуктивністю від 1 до 6 м³/год., в якому в якості охолоджувача застосовується повітря та вода. Установка складається з трьох відсіків секторів, нижній – повітряний, середній – охолоджуючий, верхній –

сепаруючий. Тепло від гарячого піску відбирається охолодженим повітрям, що подається в установку вентилятором по трубопроводу 1 з затворами 2, що регулюються. Охолодження повітря відбувається за рахунок проходження його між трубами 3 у вигляді змійовика, через які протікає вода, що подається з водопровідної або водооборотної системи. Охолоджене повітря через патрубки-грибки 4 висхідним потоком при певній швидкості подається в зону охолодження і утворює псевдокиплячий шар, який набуває властивості плинності. У проміжку між двома стінками відсіку холодне повітря що надходить з отворів грибків 4 в нижній стінці відсіку створюється псевдозріджений шар (з однієї торцевої стінки гарячий пісок подається, а з іншого – відводиться). Для затримання піску від винесення вихідним потоком повітря у верхній частині відсіку встановлена «відбивна» решітка 5, через яку очищене повітря відводиться у вентиляційну систему цеху.

Рис. 3.18.1. Технологічний елемент охолоджувача в псевдозрідженому шарі.

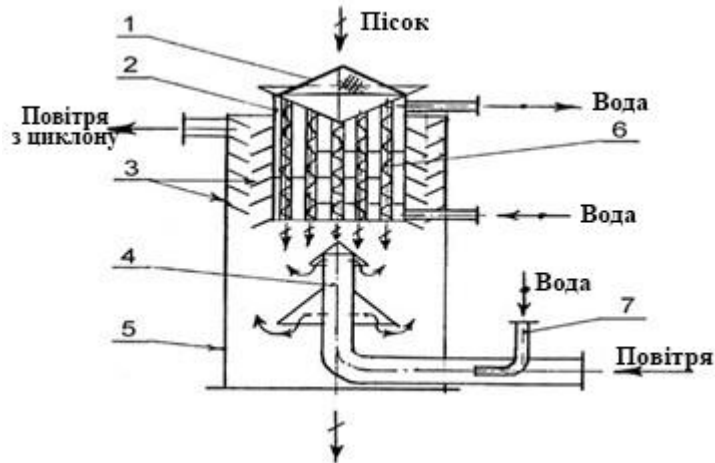


Особливостями киплячого шару є його велика теплоємність та теплопровідність. Інтенсивна циркуляція частинок, об'ємна теплоємність яких перевищує об'ємну теплоємність повітря, іноді не дозволяє забезпечити необхідну швидкість охолодження, веде до подовження установок понад 5-6 метрів і до збільшення їх енергоємності. Тому нижче наведено дві конструкції установок комбінованого охолодження шляхом поєднання двох охолоджувачів, повітря та води. Причому в повітрі перед його дотиком з сипучим матеріалом дозовано розпорошується вода (створюється водоповітряна дисперсія) у кількості, що не перешкоджає збереженню сипкості піску.

На рис. 3.18.2 показана установка охолодження сипучого формувального піску, яка являє собою зварену металеву конструкцію, що складається з внутрішнього водоохолоджуваного корпусу 2 і зовнішнього корпусу 5 всередині якого розташовані кільця 3, що відбивають пил, і патрубків 4 з конусними екранами на різних рівнях. На верх внутрішнього

корпусу встановлюється сітчастий ковпак 1, що відсіює великі включення з формувального матеріалу.

Водоохолоджуваний корпус 2 зварений у вигляді труби, до верхньої частини якої приварюється конічна воронка, а нижня стінка виконана плоскою, і між ними приварено низку вертикальних труб. Внутрішня частина корпусу поділена на секції перегородками з листового матеріалу для створення турбулентних потоків води, що омиває труби. Вода подається в нижню трубу, що розподіляється по іншим трубам і відводиться через верхню



бічну трубу.

Рис. 3.18.2. Установа охолодження сипучого формувального матеріалу комбінованим способом: 1 – сітчастий ковпак; 2 – водоохолоджуваний корпус; 3 – кільця, що відбивають пил; 4 – повітропідвідний патрубков; 5 – зовнішній корпус

Пісок через сітку 1 потрапляє у вирву, ділиться на потоки і проходить через чисельні водоохолоджувальні труби корпусу 2. Оригінальною особливістю цих труб є те, що для збільшення шляху і тривалості контакту гарячого сипучого матеріалу зі стінками труб в них вкладені спіралі з листового матеріалу. Крок спіралі обраний таким чином, щоб пісок скочувався під кутом, що перевищує кут його природного укосу. За рахунок придбання тангенціальної складової піщинки, ковзаючи та перекочуючись по спіралі, завжди контактують з металом труби та спіралі, таким чином охолоджуючись. Просипаючись через трубки водоохолоджуваного корпусу, пісок потрапляє в зовнішній корпус, в якому назустріч піску подається зволожене повітря через повітропідвідний патрубков 4. Повітря від вентилятора подається в патрубков і в нього подається струмінь води з розрахунку $50-100 \text{ мм}^3$ на 1 м^3 повітря. Верхній патрубков, що відводить повітря, з'єднується з циклоном і витяжкою цехової вентиляційної системи.

Таким чином, піщана суміш, охолоджена спочатку у водоохолоджуваних трубах, додатково охолоджується зустрічним потоком зволоженого повітря. Пісок відбивається відбивними кільцями 3, а пилоподібні частинки осаджуються в циклоні. Піщана суміш в установці окрім охолодження очищається від небажаної пилоподібної частини, для подальшого формування з високою газопроникністю стінки форми. Описана

установка відрізняється компактністю та рекомендується для невеликих формувальних ділянок.

Установка охолодження барабанного типу показана на рис. 3.18.3, складається з циліндричного обертового порожнистого корпусу 9, в порожнину якого з одного кінця по живильнику 11 подається гаряча піщана суміш (сипкий зернистий матеріал), а на іншому кінці є розвантажувальний отвір. З нього охолоджена піщана суміш потрапляє у приймальний бункер 2.

Перемішування і подача матеріалу, що охолоджується здійснюється спіральною лопатою з лопатками 10, які виготовлені з листового металу. Зовнішня поверхня внутрішнього корпусу 9 охолоджується водою, яка знаходиться між ним і водяною сорочкою 8. Вода подається по підвідному каналу 6, а зливається в бак 7. Внутрішній корпус 9 і водяна сорочка являє собою цільну конструкцію, розташовану під кутом. Таке розташування, а так само конструкція зливу забезпечує заповнення більше 50% проміжного простору водою між стінками корпусу і водяної сорочкою, зазвичай у техніці званих двома барабанами з однією віссю обертання. Додатково передбачена система подачі водоповітряної суміші через канал 1 з розпилювачем. Вода подається з розрахунку $50-100 \text{ мм}^3$ на 1 м^3 повітря для сухої піщаної суміші, а також у більшій кількості, якщо барабанна установка застосовується для сирих формувальних сумішей зі сполучним традиційного способу формування. Барабанний корпус з водяною сорочкою установки через опорну систему 3 з роликів встановлені на станині 4 і обертаються (5-10 об./хв.) приводом 5. Змінюючи діаметр і довжину водяної сорочки 8 і внутрішнього корпусу, а також їх нахил і швидкість обертання, отримують продуктивність охолодження формувальної суміші від 2 до 6 $\text{м}^3/\text{год}$. Для запобігання замерзанню води у зимовий період є водоспускна система.

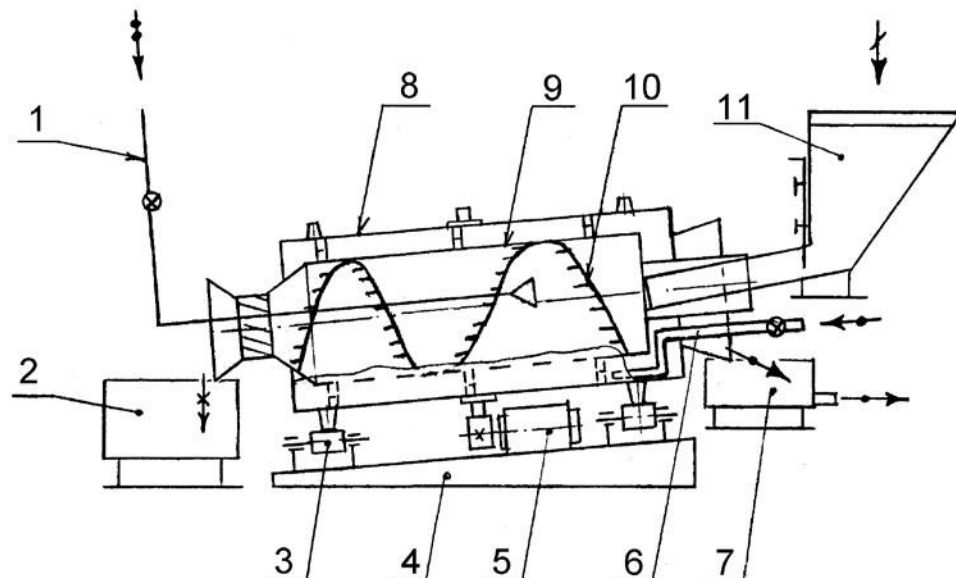


Рис. 3.18. Установка охолодження барабанного типу: 1 – система подачі води з розпилювачем; 2 – приймальний бункер; 3 – опорна система; 4 – станина; 5 – привод; 6 – водопідвідний канал; 7 – бак водооборотної системи; 8 – водяна

сорочка; 9 – циліндричний обертовий корпус; 10 – спіральна лопатка з лопатками; 11 – живильник

Шафа охолодження S8910B

Шафа охолодження S8910B (рис. 3.18.4) призначена для охолодження та знепилення відпрацьованого піску. Шафа складається з вентилятора високого тиску, розподільника, клапанів, трубчастого теплообмінника корпусу та пиловловлюючої зонта. Завантаження піску здійснюється через верхній патрубок, який нагнітається вентилятором повітряним тиском, формується шар, рівень дуття в нижньому шарі можна регулювати за допомогою клапанів-метеликів, розташованих на розподільнику повітряного потоку. У середині шафи змонтовано трубчастий теплообмінник, по якому циркулює вода.



Рис. 3.18.4. Шафа охолодження S8910B

Вентилятор високого тиску створює псевдокиплячий шар піску, дрібна фракція і частинки пилу видаляються в систему пиловловлення. Безперервно рухаючись, пісок охолоджується трубчастим теплообмінником. Охолоджений та знепилений пісок самопливом розвантажується через розвантажувальний жолоб. Шафа охолодження – важливий вузол у системі регенерації. Для періодичного очищення шафи передбачені оглядові вікна.

Таблиця 3.18.1

Характеристика шафи охолодження S8910B

Параметр	Значення
Встановлена потужність повітродувки, кВт	30
Продуктивність, т/год	10
Продуктивність системи пиловловлення, м ³ /год.	3500

Різниця температури піску на вході та виході, °С	280
Маса, кг	3500

Порційний класифікатор-охолоджувач типу СКС-1200

Порційний класифікатор-охолоджувач типу СКС-1200 (рис. 3.18.5) як і шафа охолодження призначений для охолодження гарячого піску до прийнятних для формування температур та знепилювання формувального піску. Охолодження піску відбувається в «псевдозрідженому шарі» шляхом контакту гарячого піску з водоохолоджуваними трубами. Для створення цього шару в охолоджувач подається повітря від вентилятора, його подача регулюється приладом виміру потоку повітря. Пильна фракція, що виділяється при охолодженні піску видаляється через пиловідведення.



Рис. 3.18.5. Порційний класифікатор-охолоджувач типу СКС-1200

Таблиця 3.18.2

Характеристика порційного класифікатора-охолоджувача типу СКС-1200

Параметр	Значення
Продуктивність, т/год	6
Місткість, л	450
Діаметр, мм	1200
Витрата повітря, м ³ /год	1220
Тиск повітря, Мбар	100
Потужність приводу, кВт	7,5
Температура піску на вході, max,	200

Температура піску на виході,	40±5
Температура води на вході,	12
Температура води на виході,	18
Витрата води, м ³ /год	10
Габаритні розміри по опорам (д×ш×в), мм	1400×1200×1300
Маса, кг	110

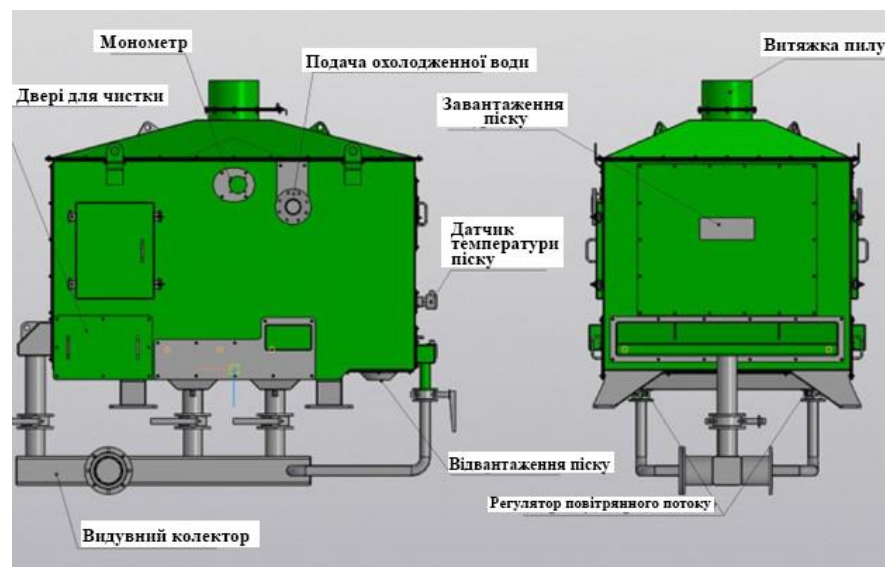
Охолоджувач піску марки ОП-10

Охолоджувач піску марки ОП-10 (рис. 3.18.6) призначений для охолодження гарячого піску до прийнятних для формування температур та його знепилення.

У комплект охолоджувача піску марки ОП-10 входить:

- насос високого тиску з колектором подачі повітря – 2 шт.;
- відцентровий вентилятор для видалення пилу;
- датчик рівня піску – 2 шт.;
- датчик – манометр тиску усередині камери;
- датчики температури піску;
- шафа управління.

Повітряна заслонка забезпечує контроль процесу видалення пилоподібної фракції піску, що регенерується. Блоки охолодження з ребристими радіаторами підключені через патрубки системи Маніфольда до трубопровідної системи для циркуляції води, що охолоджує. Вивантаження піску з ОП-10 відбувається за сигналами датчиків рівня та його температури. Охолоджувач може бути включений до системи піскообігу механізованих ліній за технологіями ЛГМ. Охолоджувач може працювати з різними системами транспортування піску: елеваторними, шнековими, пневмо-



камерними та вібраційними.

Рис. 3.18.6. Охолоджувач піску марки ОП-10

Пильна фракція, що виділяється при охолодженні піску, видаляється через пиловідведення, який повинен бути приєднаний до вентиляційної системи з подальшим осадженням пилоподібної фракції на фільтрах.

Таблиця 3.18.3

Технічна характеристика охолоджувача піску марки ОП-10

Параметр	Значення
Продуктивність, т/год	до 10
Витрата охолоджувальної води (оборотної), л./хв.	768
Витрата повітря, м ³ /год	5400
Температура піску на вході, max., °C	300
Температура піску на виході, °C	32±5
Температура води на вході, °C	25
Температура води на виході, °C	37
Максимальна електрична потужність, кВт.	34
Довжина, мм	2890
Ширина, мм	1490
Висота, мм	2277
Маса, кг	2860

Інший охолоджувач (рис. 3.18.7) на 30 т/год має габаритні розміри 4500×1500×4000 мм, потужність вентиляторів - 70 кВт, кількість води необхідної для охолодження - 12 м³/год. Усереднені параметри температури піску на вході та виході охолоджувача становлять 50°С та 25°С.

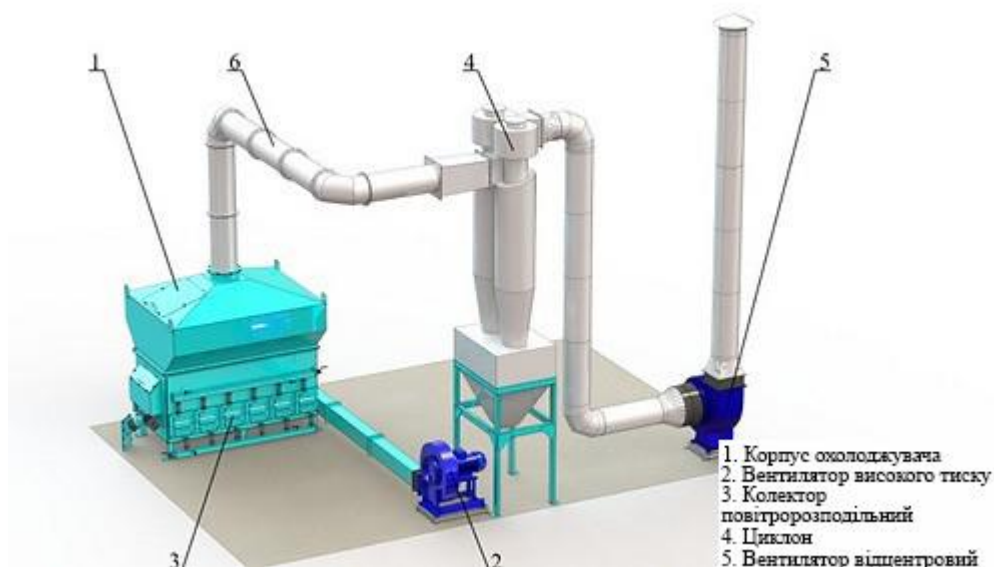


Рис. 3.18.7. Охолоджувач піску з продуктивністю 30 т/год

Температура піску на виході з охолоджувача залежить від часу охолодження і температури повітря, що подається в охолоджувач. Час охолодження піску можна регулювати за часом спрацьовування пневмозаслонки на розвантаження.

3.19 Устаткування для регенерації піску та утилізації продуктів термічної деструкції ППС

У процесі циклічного застосування кварцового піску як матеріал форми при виробництві виливків по моделях, що газифікуються, він змінює свої технологічні і фізико-механічні властивості. Під дією високої температури металу, що заливається, у форму пісок розтріскується, подрібнюється, він засмічується дрібнодисперсними продуктами протипригарних покриттів. Крім того, у ньому накопичуються продукти термічної деструкції пінополістиролу у вигляді сажистого вуглецю та конденсату вуглеводнів, включаючи стирол, толуол та бензол. Все це призводить до зниження газопроникності форми з піску, погіршення його плинності, ущільнюваності та збільшення газотворності. Тому пісок перед повторним застосуванням має проходити магнітну сепарацію, знепилення та термічну регенерацію (рис. 3.19.1).

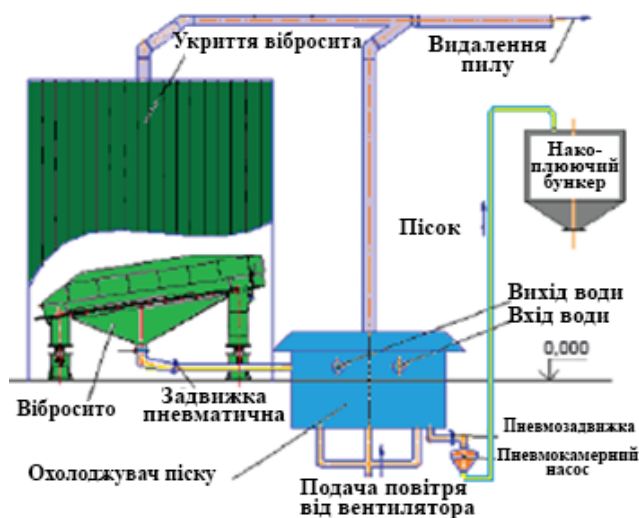


Рис. 3.19.1. Схема обладнання регенерації піску

Для знешкодження газоподібних продуктів термодеструкції пінополістиролу, що виділяються при заливанні форми металом та в процесі охолодження виливки у формі, застосовують установки каталітичного допалювання газів спільно із системою вакуумування форм. Принципіальна схема лінії термічної регенерації мод. РТ-1,0 представлена на рисунку 3.19.2.

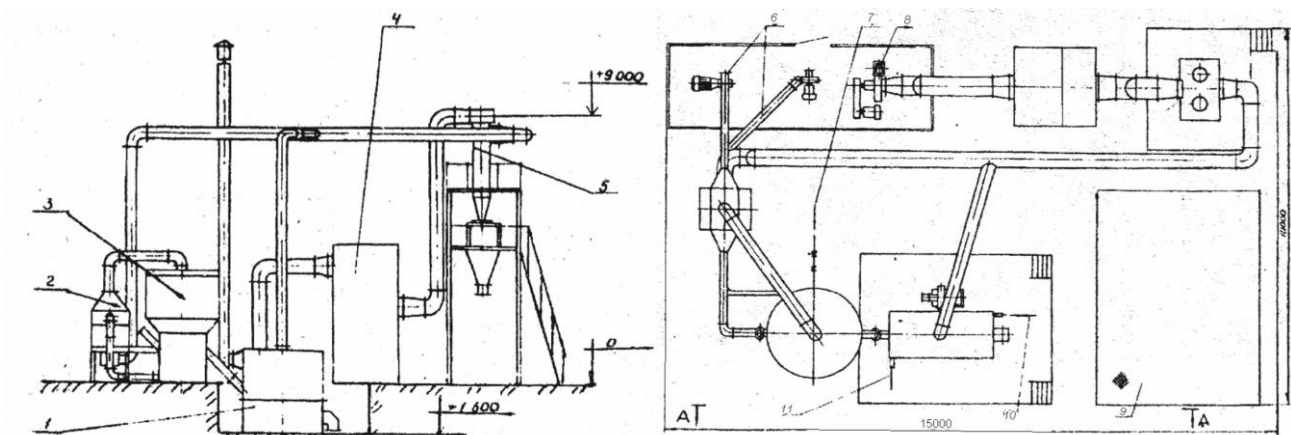


Рис. 3.19.2 — Лінія термічної регенерації мод. РТ-1,0:

1 – Апарат охолодження регенерату; 2 – осадова камера; 3 – апарат термічної регенерації; 4 – пиловловлювач; 5 – циклон; 6 - система підведення повітря до апарату термічної регенерації; 7 – патрубок; 8 – пальник; 9 – електрообладнання з системою КВП та автоматики; 10 - система подачі води до теплообмінника апарату охолодження; 11 – ґрати.

Таблиця 3.19.1

Технічна характеристика лінії термічної регенерації відпрацьованого піску типу серії РТ

Параметр	Модель лінії термічної регенерації				
	РТ-04	РТ-1,0	РТ-2,5	РТ-5,0	РТ-10
Оптимальна продуктивність, т/год	0,4	1,0	2,5	5,0	10
Витрата природного газу, м ³ /год	12	24	60	120	215
Тиск природного газу, МПа	0,2				
Температура води, °С, на вході/на виході	20/50				
Кількість димових газів після очищення, м ³ /год	3400	5700	15000	20000	35000
Встановлена потужність, кВт	40	40	73	120	175
Температура газу в камері апарату регенерації, °С	800	650-750			

3.20 Автоматизована установка регенерації формувального піску (Фірма «Neuhof», Німеччина)

Автоматизована установка регенерації формувального піску фірми «Neuhof» (рис. 3.20.1.) призначена для транспортування від місця висипки з

контейнера до пристрою засипки піску в опоку з попутним його охолодженням.

Установка включає:

Два камерні насоси, порційний класифікатор-охолоджувач, силос (бункер прийому гарячого піску), «Поліцай-сито» - сепаратор формувального піску, систему трубопроводів, що зв'язують камерний насос із приймальними бункерами.



Рис. 3.20.1. Автоматизована установка регенерації формувального піску фірми «Neuhof»

Принцип роботи установки наступний: гарячий пісок з-під вібраційного сита подається в перший камерний насос, звідки формувальна суміш ємністю 300 літрів, стисненим повітрям по трубопроводу транспортується в силос гарячого піску. З нього гарячий пісок надходить у «поліцай-сито», в якому відсівається від металевих включень, потім потрапляє в порційний класифікатор-охолоджувач, де охолоджується до потрібної температури та знепилюється. Після охолоджувача пісок надходить у другий камерний насос, звідки вистрілюється стисненим повітрям у формувальний бункер пристрою засипки піску в опоку.

3.21 Пневмокамерний насос

Пневмокамерний насос (рис. 3.21.1) призначений для дозування, транспортування формувального піску за допомогою стисненого повітря на

необхідні відстані. Одноразово насос може транспортувати пісок ємністю 100 літрів.

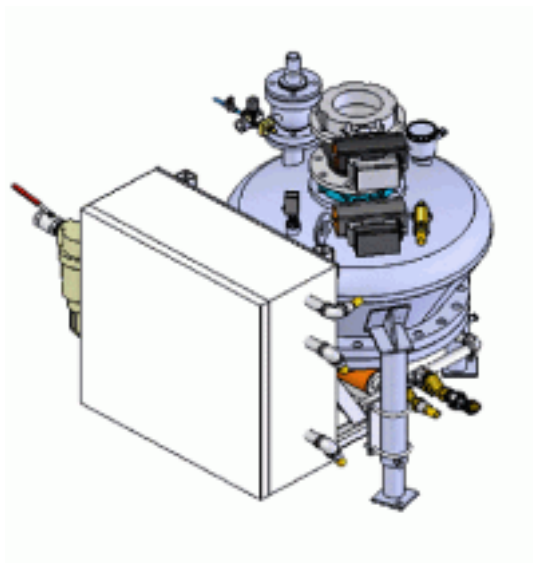


Рис. 3.21.1. Пневмокамерний насос

У системі регенерації піску встановлюються 2 камерні насоси:

- після сита вібраційного для транспортування гарячого піску;
- після охолоджувача для транспортування охолодженого піску.

Таблиця 3.21.1

Технічна характеристика пневмокамерного насосу

Параметр	Значення
Продуктивність, т/год	10
Місткість насоса, л	300
Діаметр, мм	800
Тиск при транспортуванні піску, бар	1-6
Витрата стисненого повітря, м ³ /хв.	3
Необхідний тиск стисненого повітря, бар	6-8
Габаритні розміри (д×ш×в), мм	1450×1000×1430
Маса, кг	450

3.22 Пилоуловлювання

Система видалення пилу (рис. 3.22.1) призначена для уловлювання пилу і дрібної фракції піску з основного робочого об'єму піску. Система пиловловлювання складається з трубопроводів, клапанів-метеликів,

картриджного пиловловлювача, витяжного вентилятора, імпульсної повітродувки, імпульсного клапана, секційних клапанів, розвантажувального шнека.



Рис. 3.22.1. Пиловловлювач PMS160

При роботі системи запилене повітря відкачується від вузлів лінії і збирається в єдиний трубопровід, спрямований до пиловловлювача. Для регулювання витяжної вентиляції на кожному пристрої передбачені клапани-метелики. Запилене повітря проходить через картриджний пиловловлювач зверху вниз, пил осідає на стінках картриджа, а очищене повітря збирається в єдиний патрубок, спрямований до витяжного вентилятора, і викидається в атмосферу через трубу.

Таблиця 3.22.1

Технічна характеристика пиловловлювача PMS160

Параметр	Значення
Потужність витяжного вентилятора, кВт	25
Продуктивність витяжного вентилятора, м ³ /год.	26400-39600
Площа фільтрів, м ²	440
Потужність імпульсної повітродувки, кВт	8
Потужність імпульсного клапана, кВт	0,75
Потужність шнека, кВт	1
Ефективність очищення, %	99,8
Маса, кг	1300

Вся система регенерації ЛГМ підключається до пиловловлювача через трубопровід. Трубопровід пиловловлювача служить для транспортування брудного повітря та дрібної пилу.

Пиловловлювач має функцію очищення методом зворотнього продування. Для цих цілей сам обсяг картриджного пиловловлювача розбитий на секції. При відключенні витяжного вентилятора стає можливим очищення пиловловлювача. Для цього секції пиловловлювача закриваються секційними клапанами, запускається імпульсний клапан очищення, запускається імпульсна повітродувка, після чого секційні клапани по черзі відкриваються.

Відпрацьоване повітря, що відходить від установок лінії охолодження сипких сумішей, обов'язково проходить очищення, для чого сконструйовано рідинний осадник, показаний на рис. 3.22.2. У ньому використовується принцип різниці кінетичної енергії молекул газу і пилоподібних включень у потоці, що рухаються. Забруднений газовий потік через трубу кришки 3 потрапляє в порожнину корпусу 4. Дефлектор на кінці труби направляє потік, що надходить на воду, залиту в донну частину 6 осаджувача через систему 1 циркуляції води. За рахунок різниці енергій включення пилоподібна частина при повороті газового потоку осідає у воді та накопичується. Шлам, що накопичився, спускається через зливну трубу дна 6 осадника. Рівень води при заливці контролюють контрольною трубкою 5 і повинен бути нижче рівня дефлектора. Захоплені потоком газу крапельки води відбиваються сітчастим водовідбивачем 2 верхнім екраном і верхнім дефлектором труби кришки 3. Обложена вода через систему водоциркуляції знову потрапляє в дно. Очищений газ через бічний отвір у верхній частині корпусу 4 відводиться до наступного технологічного обладнання: до насоса, розширювача і т.д.

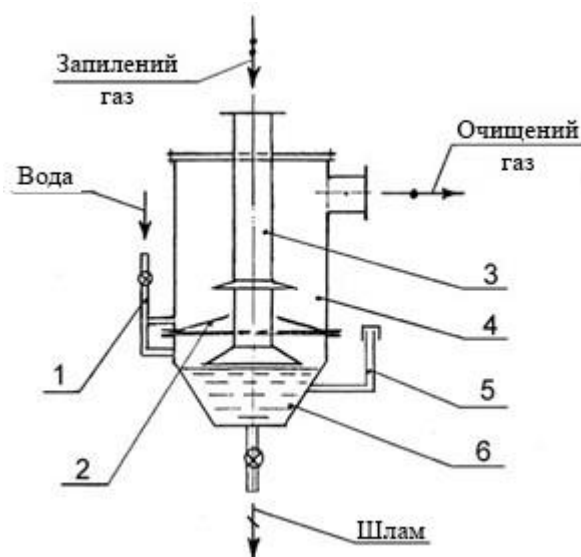


Рис. 3.22.2. Осаджувач рідинний: 1 – система циркуляції води; 2 – сітчастий водовідбивач; 3 – труба; 4 – корпус; 5 – контрольна трубка; 6 – донна частина

3.23 Різноманітність ліній ЛГМ за розмірами опок та продуктивністю

Механізована формувально-заливальна лінія МФЗЛ

Лінія МФЗЛ призначена для виготовлення форм і отримання точних виливків шляхом застосування прогресивного технологічного процесу – лиття за моделями, що газифікуються, при дотриманні вимог щодо екології для навколишнього середовища.

Електрообладнання управління формувально-заливальної лінією включає шафу управління вібростолом, шафу з числовим управлінням системою регенерації піску і шафу автоматизованого управління приводами рольгангів, візків трансбордерних, кантувача і пристрої засипки піску в контейнер.

Таблиця 3.23.1

Технічні характеристики формувально-заливальної лінії МФЗЛ-20 LF та системи управління побудованої на базі мікропроцесора фірми «WAGO» (Німеччина)

Параметр	Значення
Тип лінії	механізована формувально-заливальна лінія
Максимальна продуктивність лінії, опок/година	10
Максимально можлива кількість опок на лінії, шт.	26
Кількість опок на лінії, шт.	20
Приєднана потужність електроенергії, кВт.	92
Габаритні розміри лінії (д×ш×в), мм	18000×9000×5600
Маса опоки, кг	1,0
Витрата охолоджувальної води, л/хв	500
Робочий тиск системи охолодження, МПа	0,2
Робочий тиск у гідросистемі, МПа	18,0
Максимальна продуктивність системи транспортування піску, кг/година	6000
Строк служби, років	10

Оператор управління МФЗЛ, чол.	1
Маса, тонн	40
Розміри опок, мм	800×800×600 800×800×1000 800×1200×1100
Потужність електрообладнання системи керування, кВт	2
Мікропроцесор	Тип: WAGO 750-881
Система дискретних входів/виходів	Тип: WAGO 750-1405/750-1504

Механізована лінія ПАТ «КАМЕТ»

У складі формувально-залівальної лінії ЛГМ ПАТ «КАМЕТ» (рис. 3.23.2) встановлений спеціальний вібростіл німецької фірми «Netter», який дозволяє вибрати оптимальне віброуцільнення, забезпечити якісне заповнення піском складних порожнин пінополістиролових моделей та отримати високу якість виливків. На лінії застосовано спеціальний пристрій для заповнення контейнера піском, що дозволяє пошарово заповнювати пінополістиролові моделі, що також сприяє якісному віброуцільненню. Застосування гідравлічного кантувача залитої форми та вібростита з укриттям повністю виключає пиловиділення при вибиванні залитих контейнерів. На лінії ЛГМ встановлено автоматичну систему регенерації відпрацьованого піску німецької фірми «Neuhof», що дозволяє здійснити якісне охолодження та знепилювання піску після заливання форм. Комп'ютеризований комплекс для виготовлення моделей із спінених матеріалів дозволяє отримати моделі з низькою щільністю, що забезпечує високу якість виливків із вуглецевих та легованих сталей.

Лінія призначена для виготовлення виливків дрібносерійного виробництва.

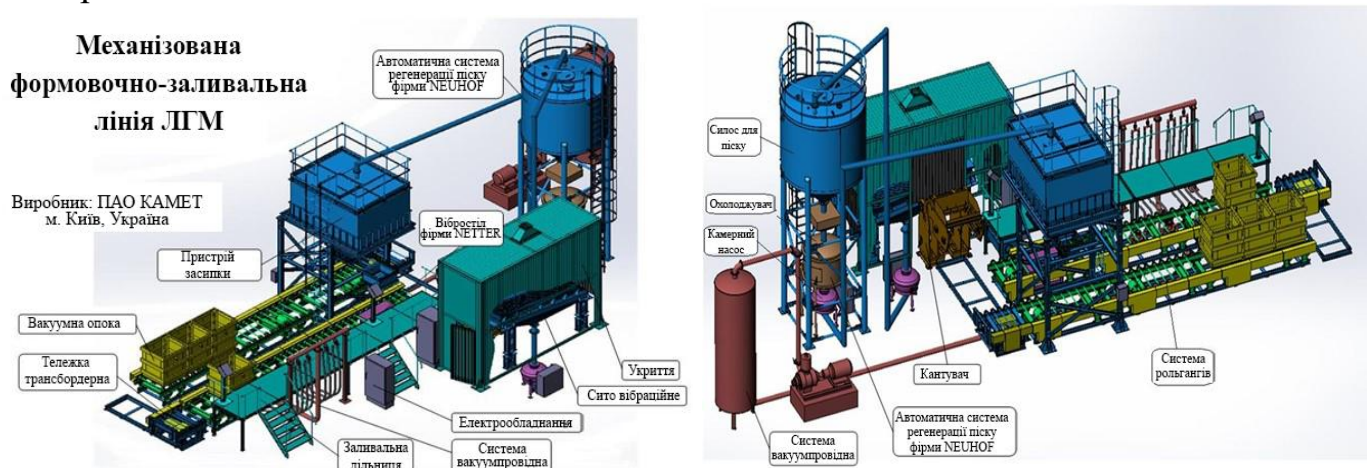


Рис. 3.23.2. Механізована лінія ПАТ «КАМЕТ»

Таблиця 3.23.2

Технічні характеристики механізованої лінії ПАТ «КАМЕТ»

Параметр	Значення
Продуктивність, опоки/година	4 -8
Розміри опок у світу, мм	900×850×1000
Об'єм опоки, м ³	0,77
Кількість піску в обороті, т	12
Встановлена потужність лінії, кВт	125
Потреба у технічній воді, м ³ /год	12
Потреба у стиснутому повітрі, Нл/хв	2000
Кількість повітря, що відсмоктується у вентиляційну систему, м ³ /год	7000
Габаритні розміри лінії (д×ш×в)	17720×7565×10050

Механізована лінія ТОВ «АКС»

Механізована лінія ТОВ «АКС» (рис. 3.23.3) працює на базі конвеєра візкового підлогового горизонтально-замкнутого циклу та включає:

- 42 візки транспортні з встановленими на них спеціальними опоками, з розмірами у світу 720×720 мм;
- двопозиційний пристрій засипний з бункером ємністю 7,5 м³ та проміжною позицією для встановлення модельного блоку;
- будову вакуум-підведення для заливання форм – 6 позицій;
- кантувач опок - 1 шт.

Формування здійснюється на трьох позиціях: на першій позиції, обладнаній дозатором сухого піску, виконується «ліжко», на яку на другій позиції встановлюється модельний блок. На третій позиції, обладнаній дозатором сухого піску та підйомним вібростолом, відбувається заповнення опоки сухим піском.

Заповнена опока ущільнюється вібрацією. При заливці рідким металом опока підключається до вакуумпровідної системи і в порожнині форми створюється необхідне розрідження, внаслідок чого створюються умови для

отримання якісного лиття і одночасно локалізуються, видаляються і знешкоджуються, що утворюються в процесі заливання, газу.



Рис. 3.23.3. Механізована лінія ТОВ «АКС»

Залиті опоки в процесі подальшого руху охолоджуються в охолоджувальному кожусі. Кількість опок, що розміщуються в кожусі – 17 штук, що забезпечує час охолодження 1,5 години. Після охолодження опоки з піском і виливками кантуються перекидачем, з якого виливки з піском потрапляють на вібраційне сито. Далі куц виливків передається на обрубку, а «просіяний» на ситі гарячий пісок за допомогою автоматичної системи регенерації фірми «Neuhof», охолоджується, знепилюється і повертається у бункер формувального засипного пристрою. Робочі місця формування та заливання опок розташовуються на робочому майданчику.

Таблиця 3.23.3

Технічні характеристики механізованої лінії ТОВ «АКС»

Параметр	Значення
Продуктивність циклова, середня (при двозмінній роботі), опок/година	15 11
Розміри опоки у світу, мм	720×720×750
Місткість видаткового бункера, м ³	7,5
Встановлена потужність лінії, кВт	35
Кількість візків, шт.	42
Зокрема позицій:	
- формування	3

- заливання (з вакуумопідведенням)	6
- охолодження	17
- вибивання	1
Габаритні розміри лінії: - довжина, м - ширина, м - висота, м	31 15 5,2
Маса лінії, т	52

На рисунку 3.23.4 представлена механізована лінія продуктивністю 12 форм/год із розміром опок 800×800×1000 мм.

Дві такі лінії продуктивністю до 60 форм/год поставлені в Японію за технічним завданням.



Рис. 3.23.4. Механізована лінія продуктивністю 12 форм/год із розміром мм.