

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра: „Матеріалознавство та ливарне виробництво”

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою МЛІВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр Кузик

“ _____ ” _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**

на тему:

“Конструювання і розрахунків магнітодинамічного насоса моделі МДН-6А для нагріву і дозованої розливки алюмінієвих сплавів”

“Design and calculation of a magnetodynamic pump model MDN-6A for heating and metered casting of aluminum alloys”

Виконав здобувач вищої освіти

IV курсу, групи ПМ-22з-1

спеціальності 131 – «Прикладна механіка»

_____ Зінченко І.А.

“ _____ ” _____ 2026 р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

_____ Віктор Ломакін

“ _____ ” _____ 2026 р.

Рецензент _____

5. Консультанти по роботі із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Огляд засобів магнітної гідродинаміки	Ломакін В. М.		
Конструювання і розрахунок <u>магнітодинамічного</u> насоса моделі МДН-6А	Ломакін В. М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд засобів магнітної гідродинаміки		
2.	Конструювання і розрахунок <u>магнітодинамічного</u> насоса моделі МДН-6А		
5.	Оформлення пояснювальної записки		
6.	Оформлення рецензії		
7.	Захист кваліфікаційної роботи		

Дата видачі завдання:

“ _____ ” _____ 2026 р.

Підпис керівника

Ломакін В. М.

(прізвище та ініціали)

Підпис здобувача

Зінченко І. А.

(прізвище та ініціали)

Анотація

стор. 55, рис. 11, табл. 3, бібліографічних назв 12

Кокіль, багатопозиційна машина, двигун, муфта, циліндричний редуктор, редуктор-стійка, продуктивність, гідропривод

Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему: “Конструювання і розрахунок магнітодинамічного насоса моделі МДН-6А для нагріву і дозованої розливки алюмінієвих сплавів” складається із шести розділів.

У роботі розглядаються питання конструювання та розрахунку магнітодинамічного насоса моделі МДН-6А для нагріву й дозованої розливки алюмінієвих сплавів. Проведено аналіз особливостей роботи насоса з алюмінієвими розплавами, визначено основні конструктивні параметри та виконано розрахунки, необхідні для забезпечення ефективної роботи установки.

Особлива увага приділяється забезпеченню стабільності подачі металу, підвищенню якості розливки та покращенню техніко-економічних показників ливарного виробництва.

Annotation

Page 55, fig. 11, table. 3, bibliographic titles 12

Metal casting mold, multi-position machine, motor, coupling, cylindrical gear reducer, reducer- rack, performance, hydraulic drive

The qualifying work for the first (bachelor's) level of higher education on the topic: "Design and calculation of a magnetodynamic pump model MDN-6A for heating and dosed casting of aluminum alloys" consists of six sections.

The paper examines the design and calculation of a magnetodynamic pump model MDN-6A for heating and dosed casting of aluminum alloys. An analysis of the operating characteristics of a pump with aluminum melts was conducted, the main design parameters were determined, and calculations necessary to ensure the efficient operation of the unit were performed.

Particular attention is paid to ensuring the stability of metal supply, improving the quality of casting and improving the technical and economic performance of the foundry.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	7
1. Технологія плавки ливарних алюмінієвих сплавів	9
2. Засоби магнітної гідродинаміки	13
3. Порівняльна характеристика магнітодинамічних насосів	18
3.1. МДН-5	18
3.2. МДН-7	19
3.3. МДН-12	20
3.4. МД-1600	21
3.5 МДН-6Ч	23
3.6. МДН-6А	25
4. Особливості розливки та дозування алюмінієвих сплавів	26
5. Конструювання МДН-6А для нагріву і розливки алюмінієвих сплавів	29
5.1. Конструкція установки	30
5.2. Принцип дії та керування роботою установки	33
6. Розрахунок електричних і теплових параметрів насоса МДН-6А.....	38
Висновок	54
Список літератури	55

ВСТУП

Сучасний розвиток ливарного виробництва нерозривно пов'язаний із підвищенням вимог до якості металопродукції, продуктивності технологічного обладнання та рівня автоматизації виробничих процесів. У промисловості постійно зростає потреба у виготовленні деталей із високими експлуатаційними характеристиками, мінімальною кількістю дефектів та стабільними механічними властивостями. Особливе місце серед конструкційних матеріалів займають алюмінієві сплави, які завдяки малій густині, високій корозійній стійкості, добрій теплопровідності та достатній міцності широко використовуються в машинобудуванні, автомобілебудуванні, авіаційній техніці, енергетиці та інших галузях сучасної промисловості.

Разом із численними перевагами алюмінієві сплави мають і певні технологічні особливості, які ускладнюють процеси їх плавки та лиття. Рідкий алюміній характеризується високою хімічною активністю, значною схильністю до окиснення, утворення оксидних плівок та насичення газами, насамперед воднем. У процесі транспортування й розливки розплаву можуть виникати турбулентні потоки, які сприяють захопленню повітря та утворенню неметалевих включень. Це негативно впливає на якість виливків, призводить до появи пористості, зниження механічних властивостей та збільшення кількості браку. Тому важливим завданням сучасного ливарного виробництва є забезпечення стабільного й контрольованого переміщення рідкого металу, підтримання оптимального температурного режиму та точного дозування розплаву під час його подачі у ливарні форми.

Одним із найбільш перспективних напрямів удосконалення процесів транспортування та розливки рідких металів є застосування магнітогідродинамічних установок. Використання електромагнітного впливу на струмопровідні розплави дозволяє здійснювати безконтактне переміщення металу без використання механічних рухомих елементів у зоні високих температур. Завдяки цьому зменшується механічний вплив на розплав, знижується інтенсивність вторинного окиснення металу та покращуються умови його транспортування і дозування.

Особливе значення в сучасних автоматизованих ливарних системах мають магнітодинамічні насоси, які забезпечують стабільну подачу рідкого металу, підтримання заданих технологічних параметрів та високу повторюваність виробничих процесів. Одним із найбільш відомих і поширених пристроїв такого типу є магнітодинамічний насос МДН-6А, призначений для нагріву, транспортування та дозованої розливки алюмінієвих сплавів. Використання такого обладнання дозволяє підвищити ефективність ливарного виробництва, знизити втрати металу, покращити якість виливків і забезпечити більш високий рівень автоматизації технологічних процесів.

Актуальність теми даної роботи полягає у необхідності вдосконалення конструкцій магнітодинамічних насосів та підвищення ефективності їх роботи в умовах сучасного виробництва алюмінієвих виливків. Раціональний вибір конструктивних параметрів насоса, режимів електромагнітного впливу та умов роботи установки має важливе значення для забезпечення стабільного руху розплаву, зменшення технологічних втрат і покращення якості готової продукції.

Метою роботи є конструювання та розрахунок магнітодинамічного насоса моделі МДН-6А для забезпечення ефективного нагріву, транспортування та дозованої подачі алюмінієвих сплавів у сучасних автоматизованих ливарних системах [1, 2].

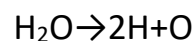
1. ТЕХНОЛОГІЯ ПЛАВКИ ЛИВАРНИХ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Алюмінієві сплави широко застосовуються у машинобудуванні, авіаційній промисловості, приладобудуванні та ливарному виробництві завдяки їх малій густині, високій корозійній стійкості та добрим ливарним властивостям. Разом з тим технологія плавки алюмінієвих сплавів має ряд особливостей, пов'язаних з високою хімічною активністю алюмінію, його схильністю до окиснення та розчинення газів [3, 4].

Основною проблемою під час плавки алюмінієвих сплавів є інтенсивне окиснення поверхні розплаву та насичення металу воднем. При контакті з атмосферою на поверхні алюмінію швидко утворюється оксидна плівка Al_2O_3 , яка має високу температуру плавлення та може потрапляти у метал у вигляді неметалевих включень. Крім того, рідкий алюміній активно розчиняє водень, що значно погіршує якість виливків.

Джерелом водню є волога, яка міститься у повітрі, шихтових матеріалах, футеровці печі, флюсах та інструменті. Під дією високої температури водяна пара розкладається, а атомарний водень легко проникає у розплавлений метал. Розчинність водню в алюмінії у рідкому стані значно більша, ніж у твердому, тому під час кристалізації надлишковий водень виділяється у вигляді бульбашок газу.

Схильність алюмінієвих сплавів до розчинення водню можна подати таким співвідношенням:



Атомарний водень розчиняється у рідкому алюмінії, а при охолодженні утворює газову пористість, яка різко знижує механічні властивості та герметичність виливків.

Для зменшення окиснення та захисту поверхні металу під час плавки застосовують покривні флюси. Покривні флюси утворюють на поверхні розплаву захисний шар, який ізолює метал від контакту з атмосферою та

зменшує окиснення. Крім того, вони частково поглинають неметалеві включення та сприяють очищенню поверхні розплаву.

До складу покривних флюсів входять переважно хлористі та фтористі солі. Найбільш поширеними є:

хлористий натрій (NaCl);

хлористий калій (KCl);

кріоліт (Na₃AlF₆);

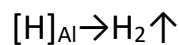
фтористий натрій (NaF).

Хлористі сполуки мають добру текучість та забезпечують рівномірне покриття поверхні металу. Вони утворюють рідкий сольовий шар, який перешкоджає доступу кисню до розплаву та зменшує інтенсивність окиснення.

Для очищення розплаву від водню та неметалевих включень застосовують рафінуючі флюси. Їх основним призначенням є дегазація металу та видалення оксидних включень. Рафінування може здійснюватись як введенням спеціальних солей, так і продуванням інертними газами.

Під час рафінування часто використовують хлористі сполуки, які при взаємодії з металом виділяють газоподібні компоненти. Бульбашки газу, проходячи через розплав, захоплюють водень та неметалеві включення і виносять їх на поверхню.

Процес дегазації можна умовно подати таким чином:



де водень, розчинений у металі, переходить у газову фазу та видаляється з розплаву.

У сучасному ливарному виробництві широко застосовують універсальні флюси, які одночасно виконують функції покривних та рафінуючих. Такі флюси дозволяють спростити технологічний процес, зменшити витрати матеріалів та підвищити ефективність очищення металу. Універсальні флюси містять суміш хлористих, фтористих та інших активних солей, які забезпечують комплексний вплив на розплав.

Особливу роль у технології плавки алюмінієвих сплавів відіграють хлористі сполуки. Вони входять до складу більшості флюсів завдяки своїй здатності добре змочувати оксидні плівки, зв'язувати неметалеві включення та створювати захисний шар на поверхні металу. Найчастіше використовують суміші NaCl і KCl, які мають відносно низьку температуру плавлення та забезпечують ефективний захист розплаву.

Плавку алюмінієвих сплавів зазвичай здійснюють у тигельних або індукційних печах. Перед завантаженням шихтові матеріали ретельно очищають та просушують для зменшення надходження вологи у метал. Після розплавлення металу виконують зняття шлаку, введення флюсів, рафінування та модифікування сплаву.

Температура плавки залежить від марки сплаву, але зазвичай знаходиться у межах: 680 С–760 С.

Надмірний перегрів алюмінієвого розплаву є небажаним, оскільки він сприяє підвищеному окисненню та збільшенню розчинності водню.

Таким чином, технологія плавки алюмінієвих сплавів потребує суворого контролю температурного режиму, захисту розплаву від контакту з атмосферою та ефективного рафінування. Застосування покривних, рафінуючих та універсальних флюсів забезпечує очищення металу, зменшення газової пористості та підвищення якості готових виливків.

Ефективним напрямом підвищення якості литва є застосування засобів магнітної гідродинаміки, які дозволяють керовано впливати на структуру та поведінку розплаву без механічного контакту. Використання установок типу МДН-6А позитивно зарекомендувало себе завдяки стабілізації потоків рідкого металу, вирівнюванню температурного поля та інтенсифікації видалення газових і неметалевих включень. У результаті спостерігається покращення однорідності розплаву, зменшення дефектності виливків і підвищення їх експлуатаційних характеристик.

Додатково до зазначених проблем обробки та розливки алюмінієвих сплавів слід підкреслити значення автоматизованих систем дозування і розливки. Саме на етапі подачі розплаву у ливарні форми критичними є стабільність маси порції

металу, швидкість заповнення форми та точність відтворення заданих режимів. Ручне виконання цих операцій часто супроводжується коливаннями температури, нерівномірністю струменя та похибками дозування, що підвищує ризик утворення дефектів литва.

Застосування автоматизованих розливних комплексів дозволяє забезпечити стабільне та відтворюване дозування розплаву, синхронізоване з технологічним циклом лиття. У поєднанні із засобами магнітної гідродинаміки, зокрема установками типу МДН-6А, це створює комплексний ефект: магнітне перемішування та стабілізація потоку покращують якість розплаву, а автоматизована розливка забезпечує точність його подачі у форму.

У результаті такої інтеграції технологій досягається зниження браку, підвищення повторюваності результатів лиття та покращення загальної ефективності ливарного виробництва алюмінієвих сплавів.

Таким чином, впровадження магнітогідродинамічних впливів у процеси розливки алюмінієвих сплавів є перспективним технологічним рішенням, що сприяє підвищенню стабільності ливарного виробництва та якості кінцевої продукції.

На підставі короткої характеристики плавильних печей і особливостей технології плавки алюмінію в даній роботі спроектовано установку МДН-6А для обробки і розливки алюмінієвих сплавів.

2. ЗАСОБИ МАГНІТНОЇ ГІДРОДИНАМІКИ

Однією з основних проблем сучасного ливарного виробництва алюмінієвих сплавів є забезпечення високої чистоти розплаву та стабільності його властивостей у процесі плавки, транспортування і заливання. Алюмінієві розплави характеризуються високою хімічною активністю, інтенсивним окисненням та значною схильністю до насичення воднем. У процесі традиційної обробки металу виникає небезпека вторинного окиснення, утворення оксидних плівок, газової пористості та неметалевих включень, які погіршують механічні властивості виливків і знижують їх герметичність [5, 6, 7].

Особливо гостро проблема проявляється під час перемішування, транспортування та переливання алюмінієвого розплаву. Механічний контакт металу з інструментом, турбулентність потоків та розрив поверхневої оксидної плівки сприяють інтенсивному захопленню оксидів у товщу металу. Крім того, застосування традиційних механічних насосів та пристроїв для подачі розплаву часто супроводжується додатковим забрудненням металу та нестабільністю режимів розливки.

У зв'язку з цим у сучасному ливарному виробництві все більшого поширення набувають засоби магнітної гідродинаміки, які дозволяють здійснювати нагрів, перемішування, транспортування та дозовану розливку алюмінієвих розплавів без безпосереднього механічного контакту з металом.

Принцип магнітної гідродинаміки базується на взаємодії електромагнітного поля з електропровідним рідким металом. Під дією електромагнітних сил у розплаві виникають спрямовані потоки, які забезпечують його рух, перемішування або транспортування. Такий спосіб впливу є безконтактним, що значно знижує ймовірність забруднення металу та руйнування оксидної плівки.

Особливе значення у ливарному виробництві мають магнітодинамічні насоси. Вони призначені для транспортування та дозованої подачі рідкого алюмінію без використання механічних рухомих елементів, які контактують з розплавом. На відміну від традиційних насосів, магнітодинамічні системи

працюють за рахунок електромагнітних сил, що діють безпосередньо на рідкий метал.

Застосування магнітодинамічних насосів має ряд важливих переваг. Перш за все забезпечується висока чистота розплаву, оскільки відсутній механічний контакт металу з робочими органами насоса. Це значно зменшує утворення оксидних включень та знижує вторинне насичення металу воднем.

Важливою перевагою є також можливість плавного та точного регулювання витрати металу. Магнітодинамічні насоси дозволяють здійснювати стабільну дозовану розливу алюмінієвих сплавів, що особливо важливо для автоматизованих ливарних комплексів і машин лиття під тиском. Точність подачі металу сприяє підвищенню стабільності маси виливків та покращенню умов заповнення форми.

Крім транспортування металу, засоби магнітної гідродинаміки широко застосовуються для нагріву та обробки алюмінієвих розплавів. Електромагнітне перемішування дозволяє вирівнювати температуру та хімічний склад металу по всьому об'єму ванни, що покращує умови модифікування та рафінування сплавів.

Електромагнітна обробка також сприяє більш ефективному видаленню неметалевих включень та газів з розплаву. Завдяки контрольованому руху металу покращується спливання оксидів і шлакових частинок на поверхню розплаву, а також підвищується ефективність дегазації.

Особливо ефективними магнітодинамічні системи є при роботі з алюмінієвими сплавами, оскільки вони дозволяють мінімізувати турбулентність потоку металу. Спокійний ламінарний рух розплаву значно зменшує руйнування оксидної плівки та захоплення оксидів у метал, що позитивно впливає на якість виливків.

Використання засобів магнітної гідродинаміки дозволяє також покращити санітарно-гігієнічні умови виробництва. Відсутність механічних приводів у зоні контакту з металом знижує рівень шуму, вібрацій та кількість пилу і продуктів зносу.

Таким чином, застосування магнітогідродинамічних методів, зокрема магнітодинамічних насосів, є одним із найбільш перспективних напрямів удосконалення технології плавки та розливки алюмінієвих сплавів. Вони забезпечують високу чистоту металу, стабільність технологічних процесів, точність дозованої подачі та покращення якості готових виливків, що особливо важливо для сучасного автоматизованого ливарного виробництва.

Ефективність роботи МДН як пристрою для транспортування металу визначається його повним гідравлічним ККД:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{P_{\Gamma}}{P_i + P_e}, \quad (2.1)$$

де P_{Γ} – корисна гідравлічна потужність;

P_i – потужність, підведена до індуктора;

P_e – потужність, підведена до магніту.

Зазвичай $\eta_{\bar{a}}$ для ливарних і металургійних становить десяти частки відсотка (що характерно і для інших металургійних МГД-насосів) і, як правило, не є визначальним параметром. Більш правильно ливарні і металургійні МГД-установки характеризувати питомою потужністю на одиницю розвинутого тиску P_p :

$$P_p = \frac{P_i + P_e}{p}, \quad (2.2)$$

де p – перепад тиску в робочій зоні.

Оскільки МДН – ливарна установка, то в більшості випадків цікавить її термічний ККД:

$$\eta_{\Gamma} = \rho_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} \cdot Q_{\text{н}} \cdot \frac{T_{\text{вих}} - T_{\text{вх}}}{P_i + P_e}, \quad (2.3)$$

де $\rho_{\text{м}}$ – густина металу;

$c_{\text{м}}$ – теплоємність металу;

Q_i – витрата (продуктивність) насоса;

$T_{вх}$ – температура на початку металотракту;

$T_{вих}$ – температура в кінці металотракту.

Термічний ККД МДН становить 30-70%, електричний – 50-80%. Це набагато вище, ніж в інших типах металургійних МГД-пристроїв. Інколи оперують також гідротермічним ККД:

$$\eta_{гт} = \eta_{т} + \eta_{г}, \quad (2.4)$$

Для оцінки технологічних установок порівняння їх по енергетичним ККД не завжди показово, а в багатьох випадках і неможливо. Більш доцільно співставлення питомих витрат енергії, а також потужності, маси, капіталовкладень, трудовитрат і т.п. на одиницю корисного ефекта (наприклад, масу придатних відливків, продуктивність по плавці, заливанні або обробці (кг/год), корисне завантаження і ін.). Так, ГОСТ 26354–84 передбачає для заливочних МДН два таких показника – питому масу і питому витрату енергії, віднесені до максимальної продуктивності установки.

Основні переваги МДН. В порівнянні з іншими типами технологічного МГД-обладнання МДН має наступні переваги: 1) більш високий термічний і гідротермічний ККД завдяки високому ККД передачі енергії в рідкий метал замкнутою магнітною системою; 2) менші габаритні розміри робочої зони за рахунок можливості отримання в ній більшої густини струму (навіть в порівнянні з кондукційними МГД-насосами, де густина струму обмежується перегрівом контактів, що підводять струм); 3) більша технологічність виготовлення і надійність каналу (незважаючи на більш складну його форму в порівнянні, наприклад, з плоским ливарним насосом за рахунок виконання каналу МДН з оптимальною по технологічним і тепловим умовам товщиною стінки футеровки і теплоізоляції завдяки меншій залежності ККД систем з замкнутим магнітопроводом від величини немагнітного зазору); 4) можливість, завдяки наявності двох електромагнітних систем, більш глибокого керування гідравлічними і тепловими параметрами в таких технологічних процесах, де на

різних стадіях необхідно то інтенсивно підігрівати метал, то переміщувати його;

- 5) відсутність втрат тиску, визваних зсувом фаз між струмом в металі і робочим магнітним потоком завдяки можливості оптимізувати кут зсуву фаз між первинними напругами магнітних систем МДН;
- 6) більш високий загальний коефіцієнт потужності завдяки високому коефіцієнту потужності індуктора (0,6-0,8) і значно більшою, ніж у електромагніта, його потужності, що знижує вартість і габаритні розміри джерела живлення, підвищує електричний ККД МДН;
- 7) більш дешеве джерело живлення (без кошовних перетворювачів частоти струму) завдяки застосуванню струму промислової частоти;
- 8) більш проста і надійна для охолодження, заміни і ремонту конструкція обмоток.

3. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАГНІТОДИНАМІЧНИХ НАСОСІВ

3.1. МДН-5

Насос МДН-5 застосовується у ливарному виробництві для транспортування та дозованої подачі рідких алюмінієвих сплавів. Його використання орієнтоване переважно на забезпечення стабільної подачі розплаву під час виконання технологічних операцій розливки. Робота насоса базується на магнітогідродинамічному принципі, за якого переміщення рідкого металу здійснюється під дією електромагнітних сил без використання механічних робочих органів у зоні контакту з розплавом.

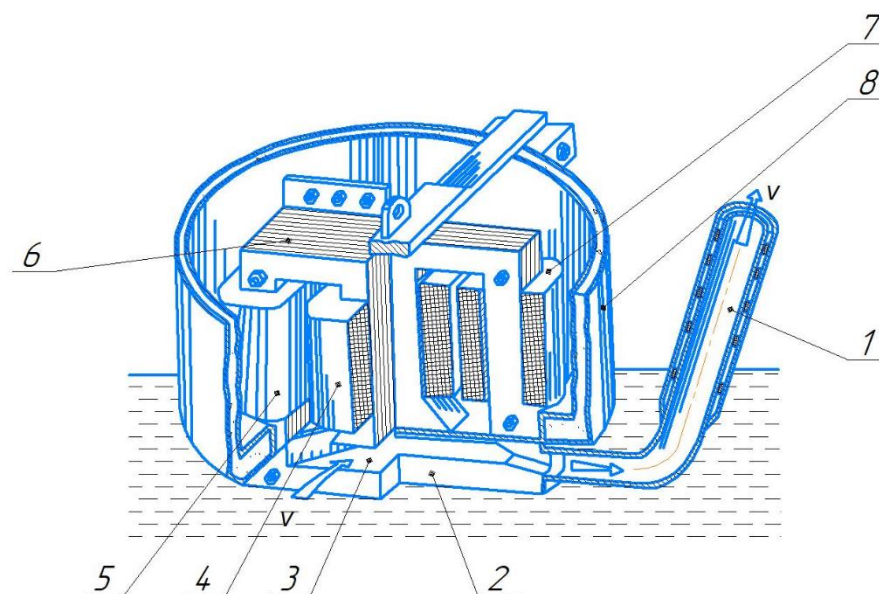


Рис. 3.1 – МДН-5

*1 – зливний металопривід; 2 – ядро;
3 – канал; 4 – обмотка; 5, 7 – обмотки індуктора;
6 – магнітопривід; 8 – захисний кожух*

Основною перевагою МДН-5 є можливість плавної та рівномірної подачі металу, що дозволяє знизити турбулентність потоку й обмежити вторинне окиснення алюмінієвого сплаву. Це сприяє покращенню якості металу та зменшенню кількості дефектів у готових виливках. Насос також

використовується в системах дозування, де важливими є стабільність подачі та підтримання заданих параметрів процесу лиття.

Завдяки простоті інтеграції у виробничі лінії насос МДН-5 широко застосовується на ділянках розливки алюмінієвих сплавів як ефективний засіб механізації та часткової автоматизації технологічних процесів.

3.2. МДН-7

МДН-7 є більш продуктивним магнітогідродинамічним насосом, призначеним для роботи в умовах автоматизованого ливарного виробництва алюмінієвих сплавів. Його застосування пов'язане не лише з транспортуванням рідкого металу, а й із забезпеченням стабільного дозування та керованої розливки у ливарні форми в складі сучасних автоматизованих комплексів.

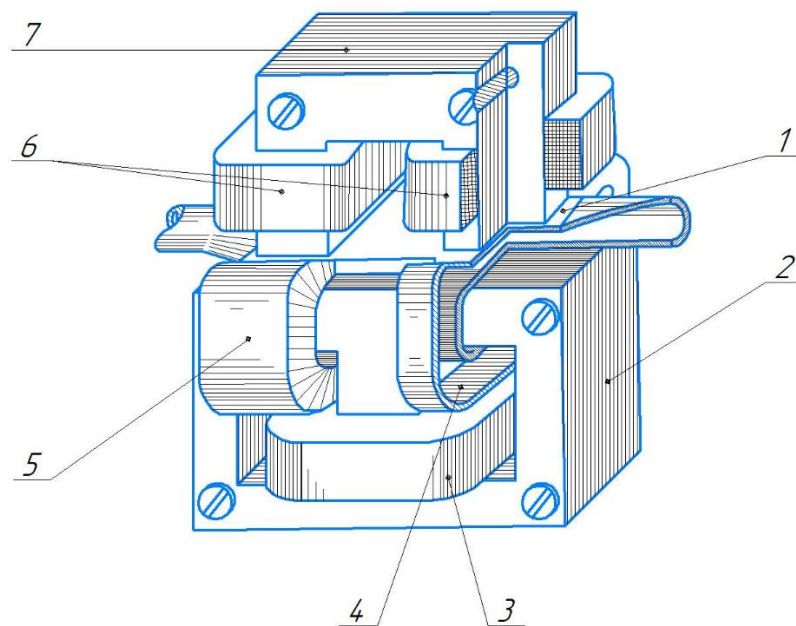


Рис. 3.2 – МДН-7

- 1 – металопровід; 2 – магнітопровід;
3 – катушка індуктора; 4, 5 – металопроводи;
6 – катушка електромагніта; 7 – магнітопровід

Принцип дії насоса ґрунтується на впливі електромагнітного поля на струмопровідний розплав, унаслідок чого створюється спрямований рух металу. Такий спосіб подачі забезпечує високу стабільність потоку та дозволяє мінімізувати механічний вплив на розплав. У порівнянні з менш продуктивними системами, МДН-7 забезпечує кращу повторюваність процесу розливки та більш точне підтримання технологічних режимів.

Використання МДН-7 у автоматизованих системах лиття сприяє підвищенню якості виливків за рахунок зменшення газонасичення, окиснення та ймовірності утворення неметалевих включень. Стабільність подачі розплаву позитивно впливає на процес заповнення форм і дозволяє знизити кількість ливарних дефектів.

Таким чином, МДН-7 є ефективним засобом автоматизації процесів дозування та розливки алюмінієвих сплавів, що забезпечує підвищення продуктивності, стабільності технологічного процесу та якості готової продукції.

3.3. МДН-12

МДН-12 є магнітогідродинамічним насосом, який використовується для транспортування та дозованої подачі рідких алюмінієвих сплавів у ливарному виробництві. Обладнання цього типу застосовується переважно на автоматизованих ділянках лиття, де необхідно забезпечити стабільність технологічного процесу та точність подачі металу до ливарних форм.

Робота насоса базується на дії електромагнітних сил на струмопровідний розплав. Завдяки такому принципу забезпечується безконтактне переміщення металу без використання механічних елементів у зоні високих температур. Це дозволяє знизити зношування обладнання та підвищити надійність роботи системи.

Використання МДН-12 сприяє стабілізації потоку розплаву, зменшенню турбулентності та обмеженню вторинного окиснення алюмінієвих сплавів. У результаті покращується однорідність металу, знижується кількість газових і

неметалевих включень та підвищується якість готових виливків. Насос також забезпечує більш точне дозування металу, що особливо важливо при роботі в автоматизованих ливарних комплексах.

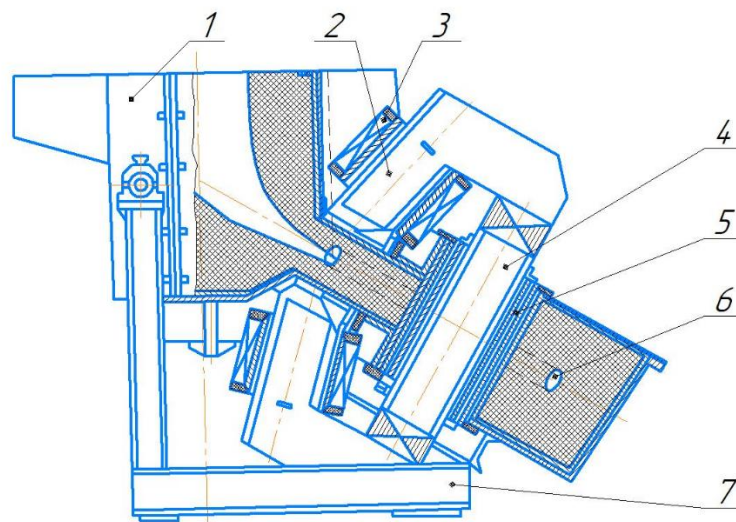


Рис. 3.3 – МДН-12

*1 – тигель; 2, 3 – магнітопровід та обмотка електромагніту;
4, 5 – магнітопровід та обмотка індуктора; 6 – канал; 7 – рама*

Таким чином, застосування МДН-12 дозволяє підвищити ефективність процесів розливки, забезпечити стабільність виробничих режимів і покращити техніко-економічні показники ливарного виробництва.

3.4. Міксер МД-1600

МДН-1600 є магнітогідродинамічним міксером, призначеним для роботи з рідкими алюмінієвими сплавами в процесах плавки, витримки, перемішування та підготовки металу до розливки. Такі установки широко застосовуються у сучасному ливарному виробництві алюмінію, де необхідно забезпечити стабільний температурний режим розплаву, однорідність його хімічного складу та високу якість металу перед подачею у ливарні форми.

Принцип роботи МДН-1600 базується на використанні електромагнітного впливу на струмопровідний алюмінієвий розплав. Під дією магнітного поля у ванні міксера виникають керовані потоки рідкого металу, які забезпечують його циркуляцію та перемішування. Це дозволяє підтримувати рівномірний розподіл

температури й хімічного складу по всьому об'єму розплаву, що є особливо важливим для алюмінієвих сплавів.

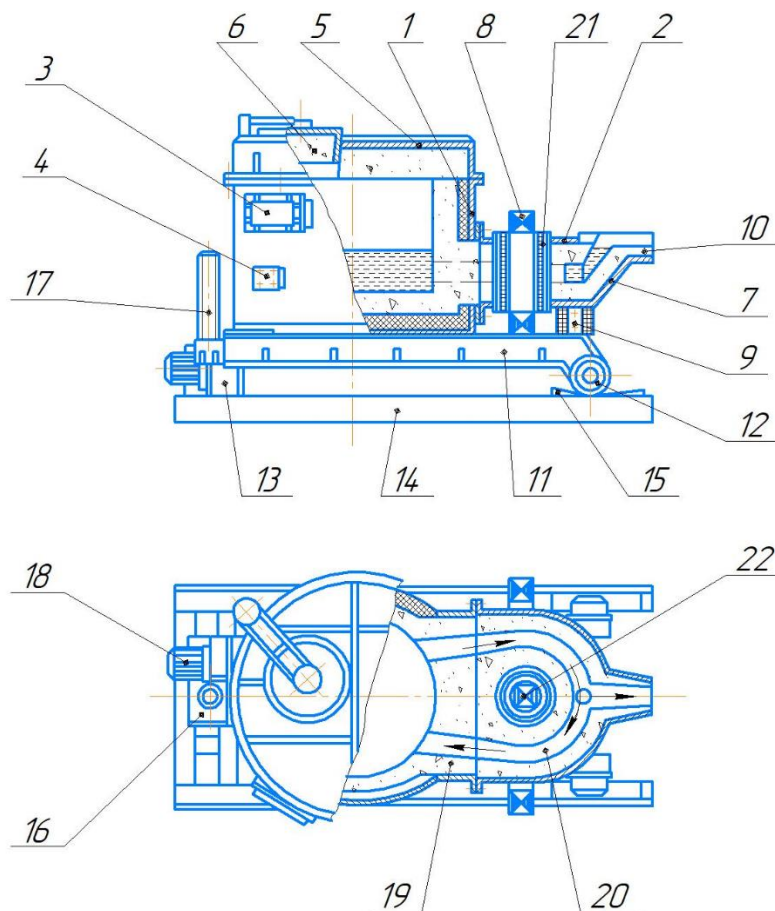


Рис. 3.4 – МД-1600

1 – тигель; 2 – індукційна електромагнітна одиниця; 3 – люк для чистки шлаку;
 4 – отвір для зливу металу; 5 – кришка; 6 – вікно для доливання металу; 7 – корпус;
 8 – індуктор; 9 – електромагніт; 10 – зливний жолоб; 11 – рама; 12 – упори;
 13 – механізм обмеженого повороту; 14 – основа; 15 – фігурні направляючі;
 16 – редуктор; 17 – гвинт; 18 – електродвигун; 19 – шаблон; 20 – канал;
 21 – катушка; 22 – центральний стержень

Для рідкого алюмінію характерна висока чутливість до окиснення, газонасичення та утворення неметалевих включень. Використання магнітогідродинамічного перемішування в МДН-1600 сприяє покращенню умов рафінування розплаву, стабілізації температурного режиму та зменшенню локальних перегрівів металу. У результаті покращується якість підготовки алюмінієвого сплаву перед розливкою, підвищується однорідність структури майбутніх виливків і зменшується кількість технологічних дефектів.

Міксер МДН-1600 застосовується у складі автоматизованих плавильно-ливарних комплексів, де забезпечує безперервність технологічного процесу та стабільну підготовку металу до подальшої розливки. Його використання дозволяє підвищити продуктивність ливарного виробництва, зменшити втрати алюмінію та забезпечити більш стабільні умови роботи обладнання.

МДН-1600 є ефективним засобом електромагнітної обробки та підготовки алюмінієвих розплавів, який забезпечує підвищення якості металу, стабільність технологічних процесів і покращення техніко-економічних показників сучасного ливарного виробництва.

3.5. МДН-6Ч

МДН-6Ч є магнітогідродинамічним насосом, призначеним для транспортування, подачі та дозованої розливки рідкого чавуну в умовах ливарного виробництва. Насоси цього типу використовуються на механізованих та автоматизованих ливарних дільницях, де необхідно забезпечити стабільність технологічного процесу, рівномірність подачі металу та зменшення втрат розплаву під час розливки.

Принцип роботи МДН-6Ч ґрунтується на дії електромагнітного поля на струмопровідний чавунний розплав. Під впливом електромагнітних сил у рідкому металі створюється спрямований потік, який забезпечує його переміщення без використання механічних рухомих елементів у зоні контакту з високотемпературним металом. Такий принцип роботи дозволяє підвищити надійність обладнання та знизити зношування робочих вузлів.

Використання насоса МДН-6Ч забезпечує більш стабільний і плавний рух чавунного розплаву, що сприяє зменшенню турбулентності потоку під час розливки. Це позитивно впливає на умови заповнення ливарних форм і кокілів, знижує ймовірність утворення дефектів литва та забезпечує більш високу повторюваність технологічних режимів. Особливе значення це має при

серійному виробництві чавунних виливків, де стабільність процесу безпосередньо впливає на якість продукції.

Насос МДН-6Ч може працювати у складі автоматизованих систем дозування та розливки металу. Його застосування дозволяє підтримувати задані параметри подачі чавуну, зменшувати втрати металу та підвищувати продуктивність ливарного обладнання. Завдяки використанню магнітогідродинамічного принципу транспортування забезпечується ефективна механізація процесів розливки та покращення умов праці персоналу.

Таким чином, МДН-6Ч є ефективним засобом механізації та автоматизації процесів лиття чавуну, який забезпечує стабільність подачі розплаву, підвищення якості виливків і покращення техніко-економічних показників ливарного виробництва.

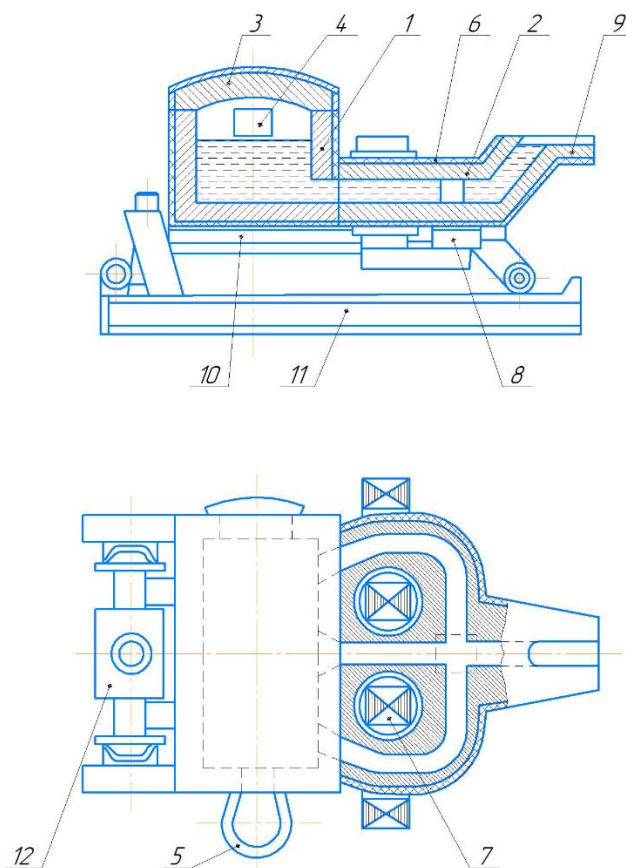


Рис. 3.5 – МДН-6Ч

- 1 – тигель;
- 2 – індукційна магнітодинамічна одиниця;
- 3 – кришка;
- 4 – вікно для чистки шлаку;
- 5 – жолб для доливання металу;
- 6 – зварний корпус;
- 7 – індуктор;
- 8 – електромагніт;
- 9 – носок для зливу металу;
- 10 – рама;
- 11 – основа;
- 12 – механізм стабілізації рівня металу

3.6. МДН-6А

МДН-6А є одним із найбільш відомих і поширених магнітогідродинамічних насосів, що застосовуються у ливарному виробництві для алюмінієвих сплавів. Його використання пов'язане насамперед із автоматизованими процесами транспортування, дозування та розливки рідкого алюмінію в умовах сучасних ливарних комплексів.

Робота насоса базується на дії електромагнітного поля на струмопровідний розплавлений метал. Унаслідок цього створюється керований рух алюмінієвого сплаву без використання механічних рухомих елементів у зоні контакту з розплавом. Такий принцип роботи дозволяє суттєво зменшити механічний вплив на метал, знизити інтенсивність вторинного окиснення та мінімізувати забруднення розплаву.

Для алюмінієвих сплавів це має особливе значення, оскільки рідкий алюміній характеризується високою хімічною активністю та схильністю до утворення оксидних включень і газової пористості. Використання МДН-6А дозволяє стабілізувати потік металу, зменшити турбулентність під час транспортування й розливки та покращити умови заповнення ливарних форм. У результаті підвищується однорідність структури виливків, зменшується кількість дефектів і покращуються механічні властивості готової продукції.

Важливою перевагою МДН-6А є його ефективна робота у складі автоматизованих систем дозування алюмінієвого розплаву. Насос забезпечує точну й стабільну подачу металу до форм або розливних пристроїв, що дозволяє підтримувати сталі параметри лиття та підвищувати повторюваність виробничих циклів. Це особливо важливо при серійному та масовому виробництві алюмінієвих виливків, де стабільність процесу безпосередньо впливає на якість продукції.

Широке застосування МДН-6А у ливарному виробництві пояснюється його надійністю, ефективністю та можливістю інтеграції в сучасні автоматизовані технологічні лінії. Використання такого обладнання сприяє підвищенню

продуктивності виробництва, зменшенню втрат металу та покращенню загальної якості алюмінієвих виливків.

4. ОСОБЛИВОСТІ РОЗЛИВКИ ТА ДОЗУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Виливки із алюмінієвих сплавів складають більше 75% продукції кольорово-ливарної промисловості. При стабілізації і навіть деякому зменшенні загального виробництва литва в світі алюмінієве литво продовжує інтенсивно розвиватися (приріст 5 – 6% в рік), має важливе значення в передових областях техніки. Основна маса алюмінієвого литва виготовляється прогресивними способами: неперервне лиття, лиття під тиском і в кокіль, рідка штамповка на високомеханізованих і автоматизованих ливарних комплексах і машинах. При цьому якщо виливки із чорних сплавів отримують в основному на крупних автоматичних лініях, то алюмінієві сплави заливають переважно на індивідуальних ливарних машинах. Тому потреба в сучасному заливочному устаткуванні для алюмінієвих сплавів особливо велика [8, 9].

Основні складнощі при розробці такого устаткування обумовлені високою хімічною активністю алюмінію і деяких компонентів алюмінієвих сплавів, магнію, літію) по відношенню до кисню і водяній парі. Оксидні домішки і воднева пористість – головні види браку для алюмінієвого литва. Зазвичай єдиною перешкодою для контакту рідкого металу з атмосферою служить оксидна плівка на його поверхні. Тому будь-які переливи металу, пов'язані з збільшенням його відкритої поверхні, розривами і замішуванням в метал захисної плівки, а також руйнування плівки на поверхні ванни при надлишковому перемішуванні металу у печах і зачерпуванні із них металу ковшами, перемішування і вспінювання металу у формі струменем що падає при заливці призводять до різкого прискорення масообмінних реакцій між алюмінієвими сплавами і атмосферою, погіршенню якості відливок. Багаточисельні дослідження підтверджують, що одно- і двократне переливання сплаву відкритим струменем практично повністю знімає ефект попереднього

його рафінування. Такий самий вплив має, одно-, двохгодинна ковшова розливка із роздаточних печей.

Оксидні домішки, зазвичай асоційовані з мікробульбашками водню, флюси, шматки футеровки печей і ковшів, утворені при плавлі окислені корольки мало відрізняються за густиною від розплаву, погано розділяються з останніми при вистоюванні і легко втягуються в ливарну форму при розливанні. Це особливо небажано при литті тиском, де відсутня можливість хоча-б частково утримати ці домішки в ливниковій системі. Весь “бруд” потрапляє прямо у відливочок і визиває в ньому дефекти типу дуже твердих “чорних плям”, які при механічній обробці відливочок призводять до зламування інструмента (особливо це недопустимо на автоматичних лініях, оскільки є причиною зупинки всієї лінії). Підвищена газонасиченість металу проявляється у відливі у вигляді пористості і особливо шкідлива при зміцненні термообробкою і зварюванні. Тому задача такої організації процесу заливки алюмінієвих сплавів, котра не допускає вторинного забруднення їх неметалевими домішками, дуже актуальна для технології алюмінієвого лиття.

Рідкі алюмінієві сплави агресивні по відношенню практично до всіх конструкційних сплавів з робочою температурою 900 – 1100 К, особливо якщо контакт відбувається в рухомому середовищі або в присутності електричного струму. При цьому у випадку використання залізовуглецевих сплавів розплав забруднюється залізом, шкідливою для якісних алюмінієвих сплавів домішкою. Взаємодіє розплавлений алюміній і з багатьма неметалевими вогнетривкими матеріалами, зокрема, відновлюючи кремній (наприклад, в шамоті). Крім того, оксиди і флюси, що містяться в розплаві утворюють нарости і пропитують стінки металотракту, скорочуючи цим термін службі вогнетривів. Поверхова оксидна плівка хімічно зрощується з стінками тиглів і металопроводів або просто механічно затримується на них. При відриванні вона з металом потрапляє в форму і визиває забруднення і брак відливіків. Особливої уваги в цьому відношенні заслуговують ділянки металотракту, що контактують з рідким металом періодично, оскільки одним із основних джерел забруднення відливіків є оксидні плівки, що утворюються в період між заливками на стінках цих

ділянок. Тому транспортування металу у форму по герметичній трубі може розглядатися як безокислювальна заливка тільки при неперервному литті, в звичайних же умовах такі труби можуть служити джерелом додаткового забруднення металу. Все це свідчить про те, що при розробці заливочних установок для алюмінієвих сплавів вибір матеріалів, -інертних, достатньо газощільних і термостійких – відповідальна і складна задача.

Хімічна активність алюмінієвих сплавів істотно залежить від перегріву. Так, наприклад, із збільшенням температури від 950 К до 1040 К швидкість поглинання водню сплавом з 9,5% кремнію збільшується у 4 рази. З іншого боку, зниження температури може визвати виділення в розплаві крупних тугоплавких інтерметалідів, які погіршують структуру відливків. Для деяких сплавів, що містять компоненти, які істотно відрізняються за густиною від алюмінію (мідь, залізо, свинець цинк і т. ін.), при тривалій розливці виникає небезпека хімічної неоднорідності. Тому якість відливків суттєво залежить від забезпечення гомогенності сплаву, що розливається по температурі і хімічному складу і мінімальних теплових втрат при розливанні металу (це дозволяє знизити температуру їх витримки в роздаточній печі).

Однорідність сплаву слід розуміти і як стабільність вмісту в ньому неметалевих домішок. Вона не забезпечується при відстоюванні металу в звичайних роздавальних печах, де в придонних шарах ванни накопичуються неметалеві домішки, які періодично захоплюються металом що розливається.

В сучасних високо механізованих ливарних машинах, як правило передбачається ковшова заливка. Роздаточні печі при цьому достатньо далеко розміщені від ливарних форм що ускладнює використання напірних дозаторів з довгими закритими трубопроводами для транспортування металу.

Із алюмінієвих сплавів виготовляються переважно відливки невеликої маси (від декількох десятків грамів до декількох кілограмів), тому в більшості випадків важко реалізувати ефективний зворотний зв'язок по масі або об'єму залитого у форму металу.

5. КОНСТРУЮВАННЯ МДН-6А ДЛЯ НАГРІВУ І РОЗЛИВКИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

Установка (насос) МДН-6А призначена для механізації і автоматизації процесу заливання металу в кокільні верстати та машини лиття під тиском. Вона являє собою роздавальну індукційну каналну піч з електромагнітним насосом.

Може застосовуватись у ливарних цехах із серійним і масовим виробництвом.

Основна перевага установки полягає в тому, що в ній поєднується електромагнітний принцип подачі металу з найбільш досконалим індукційним способом його нагріву.

У результаті впровадження процесу електромагнітного заливання досягаються такі якості:

- знижується на 90...100 % трудомісткість заливання металу;
- підвищується на 20...80 % продуктивність праці за рахунок зменшення допоміжного часу та збільшення металоємності форми;
- підвищується вихід придатного литва внаслідок стабілізації величини прес-залишків і підживлювачів, а також зниження безповоротних втрат металу на угар і сплески;
- знижується брак виливків через неметалеві домішки та газову пористість;
- зменшується витрата електроенергії під час зберігання рідкого металу завдяки індукційному способу його нагріву;
- економляться ніхромові, графітові та чавунні тиглі, що застосовуються в роздавальних печах.

Технічна характеристика МДН-6А наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Технічна характеристика МДН-6А

Найменування параметра	Величина
Маса дози залитого металу (алюмінію), кг	0,5...50
Місткість тигля (по алюмінію), кг	150
Швидкість заливки (по алюмінію), кг/с	0,3...3
Споживана потужність, кВт:	
при зберіганні металу	15
при заливці металу	25
Напруга на обмотках електромагнітних систем, В	30...80
Струм в обмотках електромагнітних систем, А	150...400
Габаритні розміри (при знятому металопроводі), мм	1740×660×1450
Маса, кг	460

5.1. Конструкція установки

Установка МДН-6 (рис. 5.1) має станину з поворотною рамою, на якій закріплені тигель із металопроводом, канал та електромагнітні системи (індуктор і електромагніт). Під час повороту рами залишки металу зливаються за допомогою черв'ячного редуктора.

Станина та рама – сталеві. Магнітопровід індуктора й електромагніта виготовлений з електротехнічної сталі марки Е-41 товщиною 0,3...0,5 мм.

Обмотки магнітних систем виготовлені з мідної шини перерізом 120 мм². Для підвищення їх надійності та запобігання міжвиткових коротких замикань між витками залишають діелектричний зазор 2 або 3 мм. Така конструкція забезпечує безперебійну багаторічну роботу обмоток.

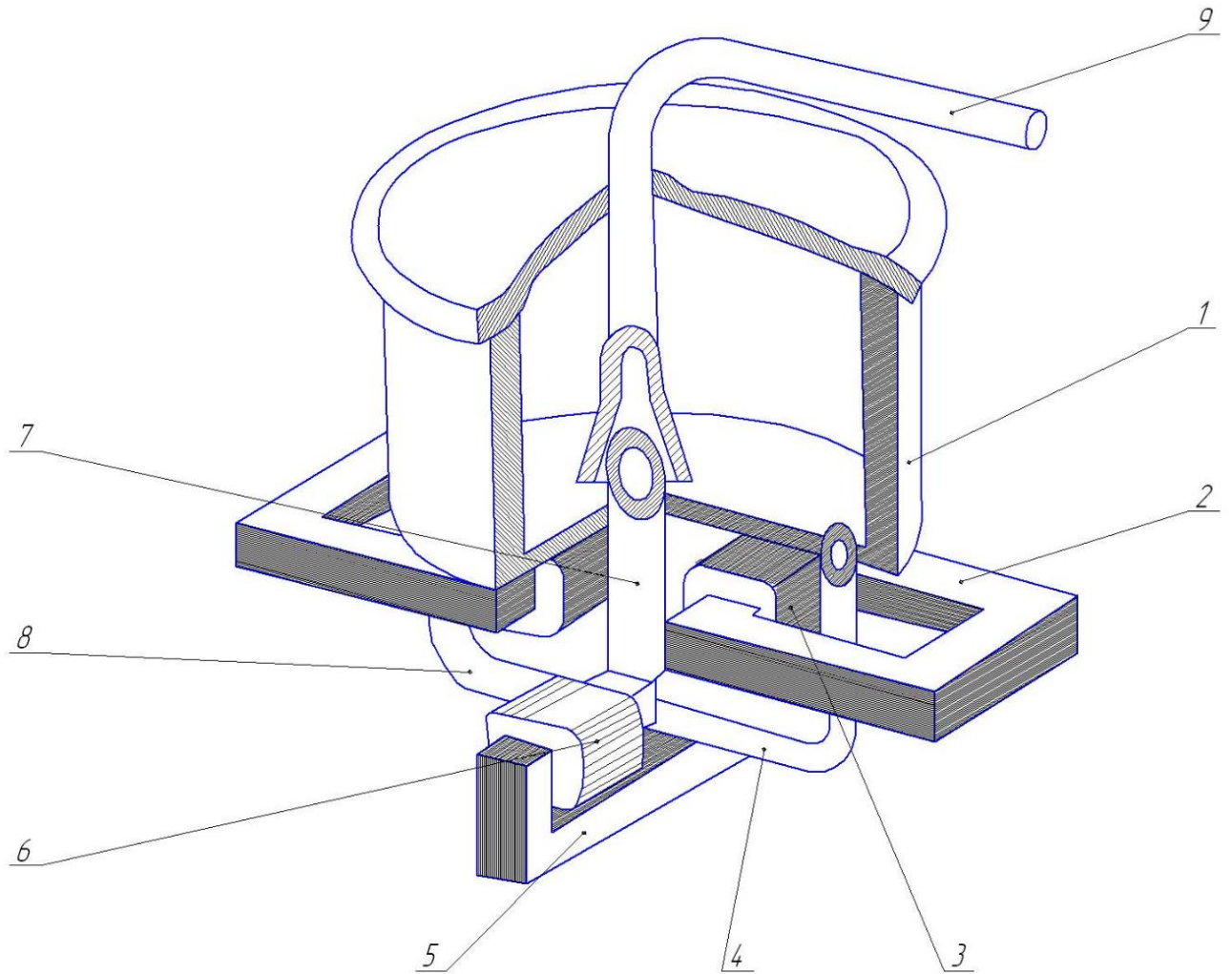


Рис. 5.1 – Насос МДН-6А

1 – тигель; 2 – магнітопровід;
 3 – обмотка; 4, 8 – бічні металопрводи;
 5 – магнітопровід; 6 – обмотка;
 7 – центральний металопровід

Тигель і канал, які безперервно контактують із рухомим рідким металом, виготовляють із матеріалів, що мають високу хімічну стійкість до алюмінію або цинку. Тигель футерують жаростійким бетоном такого складу – табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Футеровка тигля МДН –6А

Найменування компонента	Вміст, %
Тонкомелений магнезит (фракція не більше 0,09 мм)	23,4
Шамотний пісок (фракція 0,5...2 мм)	23,4
Шамотна крихта (фракція 3...5 мм)	34,5
Рідке скло	17,1
Кремнефтористий натрій	1,6

Футеровка розрахована на термін служби понад 6 місяців. Крім того, успішно застосовуються набивні маси: муліто-корундова МКЕ-78 та алюмосилікатна МЕ-66. Задовільні результати також забезпечує футеровка тигля шамотною цеглою.

Канал – литий, виготовлений із синтетичного калієвого фторфлогопіту. Термін служби каналу залежно від часу його заростання та чистоти алюмінієвого сплаву становить від 1 до 3 місяців.

Стійкість тигля та каналу при роботі на цинкових сплавах розрахована на термін 12...15 місяців.

Тигель 1 (рис. 5.1) сполучається з каналами 4, 7 і 8. Канали 4 і 8 охоплені індукторами 2 з обмотками 3.

Ділянка з'єднання каналів 4, 7 і 8 (активна зона) розташована в міжполюсному зазорі електромагніта 5 з обмотками 6. З каналом 7 сполучається знімний металопровід 9, який проходить через кришку.

Зливний металопровід для заливки порцій алюмінію (понад 2 кг) і цинку (понад 5 кг) виготовляють з асботермосилікатних трубок. При заливці менших порцій металу застосовують обігрівний прямий металопровід (рис. 5.2), внутрішню трубку якого можна виготовляти з високоглиноземистої кераміки, фторфлогопіту, карбиду кремнію або чавуну із захисним покриттям, а зовнішню – з асботермосилікату або іншого теплоізоляційного матеріалу.

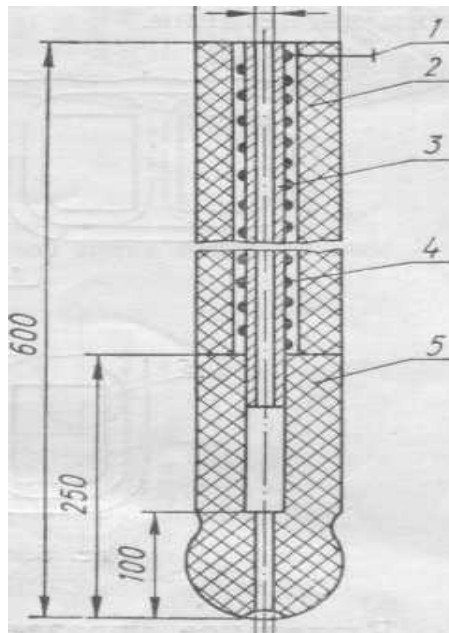


Рис. 5.2 – Зливний металопровід для заливки порцій алюмінію до 2 кг:

1 – виводи спіралі; 2 – теплоізоляція; 3 – керамічна трубка;
4 – ніхромової спіраль; 5 – занурювальна ділянка

5.2. Принцип дії та керування роботою установки

Робота установки ґрунтується на взаємодії струму, що протікає в рідкому металі, із зовнішнім магнітним полем. Під дією електромагнітних сил, які виникають у рідкому металі, здійснюється його рух за правилом «лівої руки».

При синфазному включенні обмоток індуктора в мережу промислової частоти струм у металі по каналах протікає в напрямку 1 (рис. 5.3). Такий режим включення індуктора називається режимом насоса. При протифазному включенні обмоток індуктор працює в режимі печі, при цьому струм у металі протікає в напрямку 2 (рис. 5.3).

У результаті взаємодії струму, що протікає через метал, з магнітним полем електромагніта в активній зоні виникають електромагнітні сили, напрям яких визначається режимом включення обох магнітних систем установки.

У режимі насоса при включенні електромагніта в режим нагнітання метал рухається в напрямку 3 (рис. 5.3), а при включенні електромагніта в режим всмоктування – в напрямку 5. Рух металу в режимі печі при аналогічних включеннях електромагніта має напрямок 4 (бокове перемішування).

Процес заливки металу через металопровід відбувається при включенні індуктора в режим насоса, а електромагніта – в режим нагнітання.

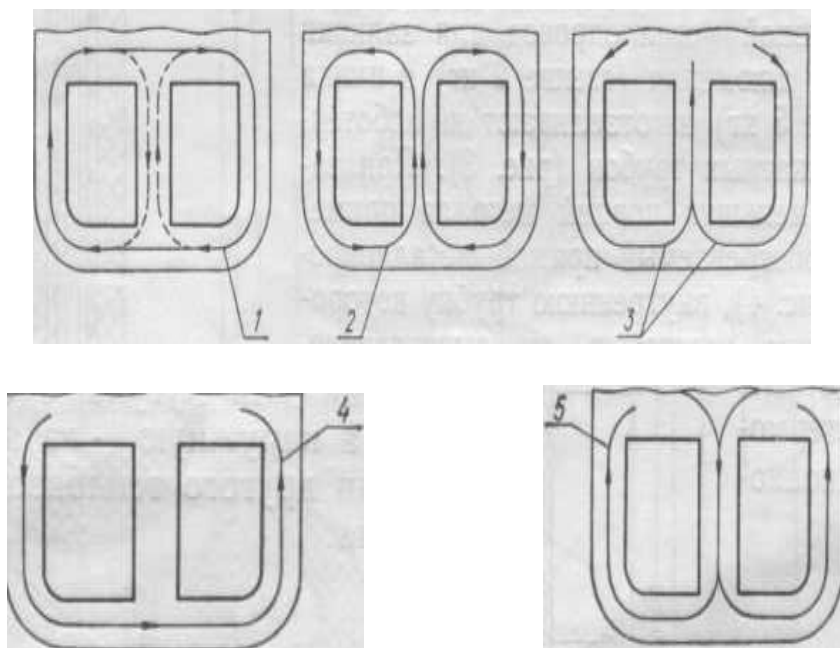


Рис. 5.3 – Зливний металопровід для заливки порцій

Роздільне керування електромагнітними системами дає змогу незалежно регулювати основні параметри технологічного процесу (температуру металу та швидкість заливки).

Електромагнітний принцип транспортування металу забезпечує повну автоматизацію процесу дозування. Найкращі результати отримують при дозуванні за часом заливки та об'ємом порції, що заливається.

У тигель установки додають тверду шихту або рідкий метал. Тверду шихту завантажують лише за умови, що швидкість відбору металу (алюмінію) з установки становить не більше 30 кг/год. Рідкий метал подається періодично за допомогою кранових ковшів або жолоба, що з'єднує плавильний агрегат з установкою.

Компонування установки МДН-6А з машиною лиття під тиском і кокільним верстатом показано на рис. 5.4 і 5.5.

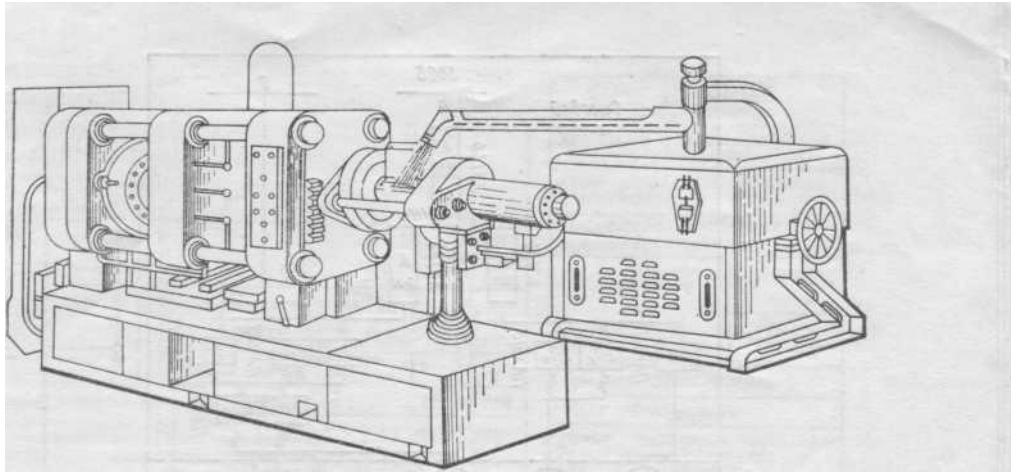


Рис.5.4 – Схема компонування установки МДН-6А з машиною лиття під тиском

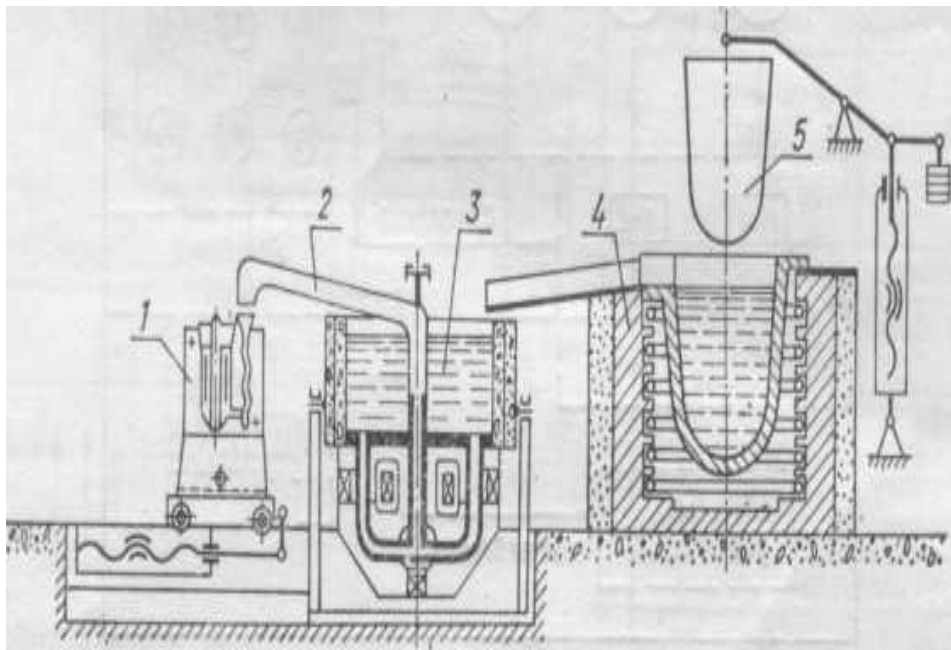


Рис. 5.5 – Схема компонування установки МДН-6 з кокільним верстатом:
1 – кокіль; 2 – металопровід; 3 – установка МДН-6А; 4 – плавильна піч;
5 – витискувач рідкого металу.

Електрична схема керування забезпечує роботу установки в ручному, напівавтоматичному та автоматичному режимах.

При заливанні окремих кокілів з інтервалом понад три хвилини доцільним є ручний режим керування. У цьому випадку на робочому місці кокільника встановлюють пульт керування з універсальним ключем, що має два положення: «Заливка» та «Інтервал». Для регулювання витрати металу в процесі заливання заготовок масою понад 5 кг ключ керування має ще такі положення: «Інтервал», «Заливка, перша швидкість», «Заливка, друга швидкість», «Заливка, третя швидкість» тощо.

У напівавтоматичному режимі роботи програми заливки виконуються за допомогою програмного реле часу при натисканні кнопки «Цикл». Команда на завершення заливки може бути отримана від реле часу або електроконтактного датчика рівня, який фіксує появу металу у випорі.

В автоматичному режимі роботи команда на виконання «Цикл» може надходити при закритті форми в машині лиття під тиском або в кокільному верстаті. У разі застосування форми, розміщеної на каруселі або конвеєрі, команда подається при суміщенні ливникової чаші зі зливним металопроводом установки.

Електросхема силової шафи (рис. 5.6) забезпечує керування основними режимами роботи установки (зберігання металу, заливка з різною швидкістю, стопор).

Напруга на електромагнітні системи подається через автомати, пускачі і знижуючі силові трансформатори з регульованою вихідною напругою.

Перехід від режиму печі до режиму насоса індукторів здійснюється реверсом напруги на Ін2 за допомогою пускача 2П. Швидкість заливки змінюється зменшенням напруги на електромагніті (замість 380 В пускачем 5П вмикається 220 В).

У режимі зберігання для зменшення інтенсивності бокового перемішування на трансформатор електромагніта ЗТр через пускач 3П220 подається напруга 220 В. Перехід з режиму нагнітання в режим всмоктування здійснюється реверсивним пускачем 4П.

Пульт встановлено біля робочого місця заливника.

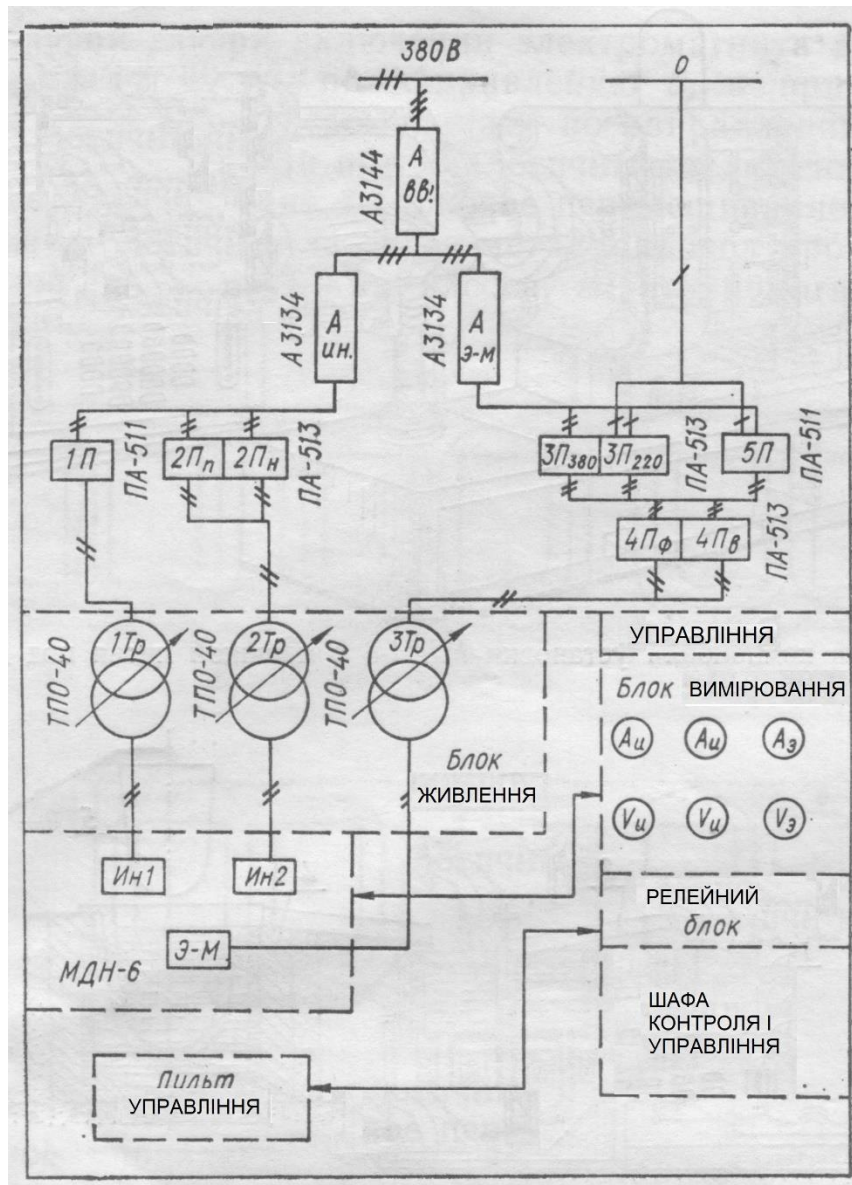


Рис. 5.6 – Принципова електрична схема силової шафи та блока живлення

Перемикання з ручного режиму керування на автоматичний забезпечується тумблерами. У ручному режимі запуск апаратури здійснюється ключами керування і кнопкою керування електромагнітом.

В автоматичному режимі «Цикл» вмикається ключем і надалі – за допомогою блокувальних зв'язків. Схема керування забезпечує два способи дозування металу. Вибір способу здійснюється тумблером.

При часовому способі доза металу визначається часом роботи реле (типу ВЛ-17). Після закінчення циклу дозування установка контактами реле переводиться з режиму заливки в режим зберігання.

Установка МДН-6А може бути використана для заливки металу під низьким електромагнітним тиском. При цьому не потрібна герметизація ємності з рідким металом і спеціальна підготовка стисненого повітря (лиття під низьким пневматичним тиском). Її також можна застосовувати для приготування, рафінування металу флюсом, вакуумування та модифікування сплавів.

Установка МДН-6А відповідає сучасним вимогам ливарної технології, є простою та надійною в експлуатації, може успішно конкурувати з дозаторами інших типів.

6. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ І ТЕПЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ МДН-6А

Вихідні дані:

6.1. Параметри установки

6.1.1. Корисна маса завантаження ванни, кг, не менше 150 кг.

6.1.2. Продуктивність при перегріві (на 100 °С), кг/год, 600.

6.1.3. Потужність індукторів, кВт, не більше 360.

6.1.4. Потужність електромагніта, кВт, не більше 60.

6.2. Характеристика металу

6.2.1. Алюмінієвий сплав марки АК5М2 такого хімічного складу: Cu -1,5-3,5%, Zn - до 1,5%, Mg - 0,2-0,8%, Si - 4,0-6,0%, Mn - 0,2-0,8%, Fe - 1,0-1,3%, Ti - 0,05-0,20%.

6.2.2. Температура розливаемого алюмінію, К (град С), не більше 1003 К (730 °С).

6.2.3. Температура доливаемого алюмінію, К (град С), не менше 1053 К (780 °С).

6.2.4. Питомий електроопір при температурі розливки, Ом·м, $1,5 \cdot 10^{-6}$.

6.2.5. Глибина проникнення електромагнітної хвилі при $f=50$ Гц, 0,087.

6.2.6. Густина при температурі розливки, кг/м³, $2,70 \cdot 10^3$.

6.3. Характеристика системи електроживлення

6.3.1. Напруга живлення мережі, В, 380.

6.3.2. Частота струму, Гц, 50.

6.3.3. Параметри вторинної обмотки трансформаторів живлення (табл. 6.1).

6.4. Система індуктування струму в рідкому металі. Індуктор складається з двох 0-подібних магнітопроводів, зєднаних разом і двох обмоток, які є первинними в системі індуктування струму. Вторинним витком є канал з рідким алюмінієм, який замикається навколо індуктора.

6.4.1. Магнітопровід виконується шихтованим із листової електромеханічної сталі марки 3412 з товщиною листа 0,35 мм.

Таблиця 6.1 – Паспортні і розрахункові характеристики вторинної обмотки силового трансформатора АОЭС3-180/420

Ступені		1	2	3	4	5	6	7	8
Паспортні дані	$U_{тр2}, В$	420	380	349	322	272	221	171	112,5
	$I_{тр2}, А$	429	475	501	497	294	298	292	266
	$P, кВт$	180	180	175	160	80	66	50	30
Розрахункові після компенсації	$I_{тр2}, А$	505	459	420	386	327	266	208	138
	$P, кВт$	191	156	132	112	80	53	32	14

6.4.2. Стержень, на якому розміщена катушка, виготовляється ступінчастим.

Площа перерізу заліза магнітопровода під катушкою (без врахування площі накладних пластин) $S'_{FE}=0,0420 м^2$; площа перерізу заліза іншого магнітопровода (без врахування площі накладних пластин), $S'_{FE}=0,0420 м^2$.

6.4.3. Обмотки індуктора однакові і кожна представляє собою катушку, розміщену на стержні магнітопровода, що проходить всередині витка. Виконується у вигляді одношарової циліндричної катушки, навитої із мідної трубки. Навивка виконується на циліндричний каркас із стіклотекстоліта товщиною 5 мм. Стяжка катушки по висоті здійснюється за допомогою двох стіклотекстолітових шайб товщиною 25 мм. Між витками передбачені прокладки товщиною 3 мм:

- кількість витків $W_u=25$;
- переріз обмоточної трубки $14 \times 17 \times 2$;
- висота обмотки (без врахування фланців) $f_u=422$ мм;
- товщина обмотки $l_u=17$ мм.

6.5. Розрахунок електричного опору системи "індуктор-виток рідкого металу".

Розрахунок виконуємо по формулам:

- активний опір

$$R_a = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{1}{\eta}} \cdot f \cdot \sum \frac{a_{xi}}{f_{xi}} \cdot F_{xi}, \quad (6.1)$$

- індуктивний опір

$$x_B = 8 \cdot 10^{-6} \cdot f \frac{\Delta S}{b_u} \cdot k_R \cdot k_S, \quad (6.2)$$

- повний опір

$$z_B = \sqrt{R_B^2 + x_B^2}, \quad (6.3)$$

де $\frac{1}{\eta}$ – питомий електричний опір алюмінію;

f – частота струму;

a_{xi} – довжина ділянки витка;

l_{xi}, f_{xi} – розміри перерізу витка на ділянках довжиною a_{xi} , (l_{xi} – розмір в напрямку проникнення електромагнітної хвилі);

F_{xi} – функція Бесселя для ділянок з різною геометрією;

ΔS – еквівалентна площа зазора, рівна сумі площ між обмоткою і витком, з урахуванням 1/3 площ обмотки індуктора і витка;

k_R – коефіцієнт Роговського;

k_s – коефіцієнт, що враховує різницю висот витка і обмотки індуктора.

Обмотки індуктора ввімкнені таким чином, що створені струми в центральному каналі рідкометалічного витка направлені назустріч один одному (режим “Насос”). Бокові вітки каналу симетричні відносно осі, що проходить вздовж центрального каналу, тому при розрахунку електроопору розглядається тільки половина витка.

Для розрахунку активного опору виток розбивається на ділянки.

6.5.1. Активний опір витка

- активний опір половини витка

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} R_a &= 2 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot} \\ &\left(\frac{0,630}{0,100} \cdot 0,955 + \frac{0,830}{0,100} \cdot 1,48 + \frac{0,408}{0,100} \cdot 1,5297 + \frac{0,360}{0,100} \cdot 1,48 + \frac{0,125}{0,075} \cdot 1,48 + \frac{0,075}{0,05} \cdot 1,48 \right) = \\ &= 1,73 \cdot 10^{-5} \cdot 34,56 = 5,99 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \end{aligned}$$

-активний опір всього витка

$$R_a = 2 \cdot 5,99 \cdot 10^{-4} = 11,98 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

6.5.2. Індуктивний опір

6.5.2.1. Розрахункова площа зазора ΔS :

$$\Delta S = \Delta S' + \Delta S'', \quad (6.4)$$

де $\Delta S''$ – площа зазора між обмотками;

$\Delta S'$ – інша залишкова площа зазора.

Площі $\Delta S'$ і $\Delta S''$ дорівнюють відповідно $0,6421 \text{ м}^2$ і $0,0524 \text{ м}^2$.

Для них коефіцієнти k_R і k_S , що входять в формулу для розрахунку x_B , різні.

6.5.2.2. Коефіцієнт Роговського.

$$k_R = 1 - \frac{\Delta_{cp} + L_{b_{cp}} + L_u}{\pi \cdot b_u} \quad (6.5)$$

де $\Delta_{\bar{n}\delta} = \frac{\Delta S_1}{L_{\bar{n}\delta}}$ – середній зазор між витком і обмоткою індуктора;

$\Delta S_1 = \Delta S'_1 + \Delta S''_1$ – площа зазора між витком і обмоткою + площа зазора між обмотками індуктора (визначається аналогічно ΔS , але без врахування 1/3 площі обмотки і витка);

$L_{\bar{n}\delta}$ – довжина середньої лінії зазора.

Для площі $\Delta S'$

$$\Delta S'_1 = 0,5886 \text{ м}^2; L'_{\bar{n}\delta} = 1,74 \text{ м}; \Delta'_{\bar{n}\delta} = \frac{0,5886}{1,74} = 0,338 \text{ м};$$

$$L'_{b_{\bar{n}\delta}} = \frac{l_1 \cdot a_1 + \dots + l_6 \cdot a_6}{a_1 + \dots + a_6} = 0,073 \text{ м}.$$

Тоді

$$k'_R = 1 - \frac{0,338 + 0,073 + 0,017}{3,14 \cdot 0,422} = 0,677 .$$

Для площі $\Delta S''$

$$\Delta S''_1 = 0,0524 \text{ м}^2; L''_{\bar{n}\delta} = 0,230 \text{ м}; \Delta''_{\bar{n}\delta} = \frac{0,0524}{0,230} = 0,228 \text{ м};$$

$L'_{b_{\bar{n}\delta}} = 0,017 \text{ м}$, оскільки витком по відношенню до обмотки першого індуктора є обмотка другого індуктора,

$$k''_R = 1 - \frac{0,228 + 0,017 + 0,017}{3,14 \cdot 0,422} = 0,802 .$$

6.5.2.3. Коефіцієнт k_S

$$k_S = 1 + \frac{b_u - b_{\hat{a}\bar{n}\bar{\delta}}}{3,5 \cdot b_u} \left(1 + \frac{\pi}{3} \cdot \frac{b_u - b_{\hat{a}\bar{n}\bar{\delta}}}{\Delta_{\bar{n}\bar{\delta}} + \frac{l_{\hat{a}\bar{n}\bar{\delta}} + l_u}{3}} \right) \quad (6.6)$$

для площі $\Delta S'$

$$b'_{b\bar{n}\bar{\delta}} = \frac{b_1 \cdot a_1 + \dots + b_6 \cdot a_6}{a_1 + \dots + a_6} = 0,0971 \text{ м}$$

$$k'_S = 1 + \frac{0,422 - 0,0971}{3,5 \cdot 0,422} \left(1 + \frac{\pi}{3} \cdot \frac{0,422 - 0,0971}{0,338 + \frac{0,073 + 0,017}{3}} \right) = 1,42$$

для площі $\Delta S''$

$$b''_{b\bar{n}\bar{\delta}} = b_{u2} = 0,422 \text{ м.}$$

Тоді

$$k''_S = 1.$$

6.5.2.4. Індуктивний опір всієї системи “індуктор-виток рідкого металу”

$$x_{\hat{a}} = 2 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{f}{b_u} \cdot (\Delta S' \cdot k'_R \cdot k'_S + \Delta S'' \cdot k''_R \cdot k''_S) = 16 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{50}{0,422} \cdot (0,6421 \cdot 0,677 \cdot 1,42 + 0,0524 \cdot 0,802 \cdot 1) = 12,61 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

5.3. Повний опір

$$z_{\hat{a}} = \sqrt{(11,98^2 + 12,61^2)} \cdot 10^{-4} = 17,39 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

6.6. Параметри системи “індуктор-виток”. Для живлення обмоток індуктора вибрана напруга $U_u=349$ В

6.6.1. ЕДС, створювана індуктором у витку рідкого металу

$$E_e = \frac{2 \cdot U_u}{k_u \cdot W_u} = \frac{2 \cdot 349}{1,1 \cdot 25} = 25,38 \text{ В,}$$

де k_u – коефіцієнт, що враховує зниження напруги в обмотці індуктора.

6.6.2. Максимальна індукція в залізі магнітопроводу індуктора

$$B_{Feu} = \frac{E_a}{4,44 \cdot f \cdot 2 \cdot S_{Fe}} = \frac{25,38}{4,4 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 0,0420} = 1,36 \text{ Тл.}$$

6.6.3. Струм в рідкому металі

$$I_B = \frac{E_B}{z_B} = \frac{25,38}{17,39 \cdot 10^{-4}} = 14525 \text{ А.}$$

6.6.4. Активна потужність, що виділяється у витку

$$P_{ab} = I_B^2 \cdot R_B = 14525^2 \cdot 11,98 \cdot 10^{-4} = 255 \text{ кВт.}$$

6.6.5. Уявна повна потужність

$$P_{sb} = E_B \cdot I_B = 25,38 \cdot 14525 = 369 \text{ кВт.}$$

6.6.6. Коефіцієнт потужності витка

$$\cos \phi_b = \frac{R_B}{z_B} = \frac{11,98 \cdot 10^{-4}}{17,39 \cdot 10^{-4}} = 0,69$$

6.7. Параметри індуктора

6.7.1. Маса сталі магнітопроводу індуктора

$$G_{Feu} = \gamma_{Fe} \cdot \sum S_{Feu_i} \cdot L_{Feu_i}, \quad (6.7)$$

де S_{Feu_i} – площа перерізу набору сталі на i -й ділянці;

$\gamma_{Fe} = 7,65 \cdot 10^3$ кг/м³ – густина сталі;

$$G_{Feu} = 7,65 \cdot 10^3 (2 \cdot 0,0423 \cdot 2,460 + 2 \cdot 0,0423 \cdot 0,630 + 2 \cdot 0,0420 \cdot 0,630) = 7,65 \cdot 10^3 \cdot 0,314 = 2405 \text{ кг}$$

6.7.2. Втрати потужності в сталі магнітопроводу (без врахування втрат в накладних пластинах).

Для сталі марки 3412 основними нормативними показниками є питомі втрати при магнітній індукції 1,5 Тл і частоті 50 Гц і магнітна індукція при напрузі магнітного поля 2500 А/м.

$$P_{Feu} = P \cdot \frac{B_{Feu}^2}{B_{Feu}^2(\text{ГОСТ})} \cdot G_{Feu} = 1,5 \frac{1,36^2}{1,5^2} \cdot 2405 = 2966 \text{ Вт.}$$

6.7.3. Активна складова струму холостого ходу індуктора

$$I_{0a} = \frac{P_{Feu}}{2 \cdot U_u} = \frac{2966}{2 \cdot 349} = 4,25 \text{ А}$$

6.7.4. Струм холостого ходу індуктора

$$I_{0u} = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0p}^2} = \sqrt{4,25^2 + 39,44^2} = 39,67 \text{ А}$$

де $I_{0p} = 39,44$ А – струм намагнічування (реактивна складова струму холостого ходу).

6.7.5. Максимальний струм в обмотці індуктора при $U_u=349$ В

$$I_u = I_e + I_{0u}=620 \text{ А}$$

де I_e – приведенне до первинної обмотки значення струму витка.

6.7.6. Втрати потужності в обмотці індуктора

$$P_{Cu} = I_u^2 \cdot R_u = 620^2 \cdot 4,67 \cdot 10^{-3} = 1795 \text{ Вт}$$

де $R_u=4,67 \cdot 10^{-3}$ Ом – активний опір обмотки індуктора.

6.7.7. Вага міді обмотки індуктора

$$G_{Cu_u} = g_{Cu} \cdot (l_{Cu} \cdot W_u + l_{\text{вив}}) = 24,2 \text{ кг}$$

де $g_{Cu} = 0,96 \text{ г/см}^3$ – вага 1 м трубки $14 \times 17 \times 2$;

$l_{Cu} = 0,989$ м – довжина середньої лінії одного витка обмотки;

$l_{\text{вив}} = 0,480$ м – довжина двох виводів обмотки.

6.7.8. Потужність індуктора

6.7.8.1. Активна потужність індуктора

$$P_{au} = P_{ав} + 2 \cdot P_{Cu} + P_{Feu} = 255 + 2 \cdot 1,8 + 3 = 261,6 \text{ кВт}$$

Кожна обмотка індуктора ввімкнена від свого трансформатора, тобто навантаження на кожну обмотку трансформатора дорівнює $\frac{1}{2}P_{au}=262/2=131$ кВт.

6.7.8.2. Повна потужність

$$P_{su} = 2 \cdot U_u \cdot I_u = 349 \cdot 620 = 216380 \text{ Вт}=434 \text{ кВт}$$

6.7.8.3. Реактивна потужність

$$P_{pu} = 2 \cdot \sqrt{P_{su}^2 - P_{au}^2} = 2 \cdot \sqrt{217^2 - 131^2} = 346 \text{ кВт}$$

6.7.9. Коефіцієнт потужності індуктора (фактично половини)

$$\cos \phi_u = \frac{P_{au}}{P_{su}} = \frac{262}{434} = 0,6$$

6.7.10. Максимальна потужність, що споживається в системі “індуктор-вигук”

$$P_u = P_{au} + 2 \cdot P_{amp} + P_{aCu} = 262 + 2 \cdot 0,240 + 1,78 = 264,26 \text{ кВт}$$

де $P_{add} = 0,24$ кВт – втрати в трансформаторі живлення обмотки індуктора.

6.7.11. Електричний ККД системи індуктування струму

$$\eta_{ел.и} = \frac{P_{ab}}{P_u} = \frac{255}{264} = 0,965$$

6.8. Розрахунок системи створення зовнішнього магнітного поля в робочій зоні.

6.8.1. Характеристика магнітопровода. Магнітопровід має Т-подібну форму; площа перерізу шихтованого заліза під котушкою $S'_{Fe} = 0,03819 \text{ м}^2$; розміри полюсного накієчника: ширина пластини $2l_{п} = 0,230 \text{ м}$, товщина пакету $2a_{п} = 0,183 \text{ м}$; площа інших частин магнітопроводу $S''_{Fe} = 0,02196 \text{ м}^2$. Магнітопровід електромагніта виготовлений із тієї ж марки сталі, що і магнітопровід індуктора.

6.8.2. Характеристика обмотки електромагніта.

Обмотка намотана мідною трубкою 17×14×2 у два шари, по 17 витків на кожному. $W_e=33$.

6.8.3. ЕРС на виток при номінальній напрузі живлення $U_e=380$ В

$$E_0 = \frac{U_e}{K_u \cdot W_e} = \frac{380}{1,1 \cdot 33} = 10,37 \text{ В}$$

6.8.4. Максимальна індукція в магнітопроводі електромагніта

$$B_{Fe_e} = \frac{E_0}{4,44 \cdot f \cdot S_{Fe_e} \cdot 0,9} = \frac{10,37}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,03819 \cdot 0,9} = 1,36 \text{ Тл}$$

6.8.5. Струм в обмотці електромагніта. Із експериментальних даних струм в обмотці електромагніта при номінальній напрузі $U_e=380$ В дорівнює $I_e=1120$ А.

6.8.6. Густина струму в обмотці

$$J_e = \frac{I_e}{S_{Cu_e}} = \frac{1120}{108} = 10,4 \text{ А/мм}^2$$

6.8.7. Втрати потужності в обмотці електромагніта

$$P_{Cu_e} = I_e^2 \cdot R_e = 1120^2 \cdot 6,35 \cdot 10^{-3} = 7970 \text{ Вт} = 7,97 \text{ кВт}$$

6.8.8 Втрата потужності в залізі магнітопроводу

$$P_{Fe_e} = P \cdot \frac{B_{Fe_e}^2}{B_{Fe_e}^2(\text{ГОСТ})} \cdot G_{Fe_e} = 1,5 \frac{1,36^2}{1,5^2} \cdot 185 = 228 \text{ Вт}$$

6.8.9. Потужність електромагніта

-активна потужність (розрахункова)

$$P_{ae} = P_{Cu_e} + P_{Fee} = 7,97 + 0,228 = 8,198 \cdot \text{кВт.}$$

Оскільки робоча зона МДН займає незначну область немагнітного зазора, робочий магнітний потік складає малу частину повного магнітного потоку. У зв'язку з цим є великі втрати потужності на вихреві струми в накладних пластинах магніта і конструктивних елементах кріплення.

Із експериментальних даних по аналогічному електромагніту визначено, що додаткові втрати на вихреві струми в накладних пластинах становлять 16,4 кВт, а в конструктивних елементах кріплення і в кожусі 12,8 кВт.

Тому приймаємо, що активна потужність електромагніта становить:

$$P_{ae} = 8,2 + 16,4 + 12,8 = 37,4 \cdot \text{кВт}$$

-повна потужність електромагніта

$$P_{se} = U_e \cdot I_e = 380 \cdot 1120 = 425,6 \text{ кВт}$$

-реактивна потужність

$$P_{se} = \sqrt{P_{se}^2 - P_{ae}^2} = \sqrt{425,6^2 - 38^2} = 424 \text{ кВт}$$

6.8.10. Коефіцієнт потужності електромагніта

$$\cos \phi_e = \frac{P_{ae}}{P_{se}} = \frac{37,4}{425,6} = 0,089$$

6.8.11. Повна потужність електромагніта:

$$P = P_{ae} + P_{amp} + P_k = 38 + 0,240 + 2,12 = 40,36 = 41 \text{ кВт}$$

де $P_{a\delta\delta} = 0,240$ кВт – втрати потужності в трансформаторі;

$P_k = 2,12$ кВт – втрати потужності в батареї конденсаторів.

6.8.12. Струм в системі створення магнітного поля після компенсації реактивної потужності

$$I_{mp2} = \frac{41 \cdot 10^3}{380 \cdot 0,9} = 119 \text{ А}$$

що набагато менше, ніж допустимий.

6.9. Тепловий розрахунок.

Втрати тепла в установці відбуваються за рахунок теплопровідності і теплової конвекції. Теплові втрати визначаються за формулою:

$$Q = k \cdot S(T_m - T_e) = q \cdot S, \text{ кВт} \quad (6.8)$$

де S – площа поверхні, через яку іде теплопередача, м^2 ;

T_i – температура металу;

T_e – температура охолоджувача;

k – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$;

q – густина теплового потоку.

Коефіцієнт теплопередачі k розраховували за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{en}}}, \quad (6.9)$$

де α_a – коефіцієнт тепловіддачі від нагрітої стінки в повітря, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$;

$\alpha_{\text{вн}}$ – коефіцієнт тепловіддачі від металу до внутрішньої стінки, Вт/(м²·град);

λ_i – коефіцієнт теплопровідності і-го шару футеровки, Вт/(м·град);

Δ_i – товщина і-го шару футеровки, м.

Товщини і склад окремих частин тигля і каналу різні, тому тепловий потік розраховуємо для кожної частини окремо.

Для визначення густини теплового потоку слід розв'язати систему рівнянь:

$$\begin{aligned}q_1 &= \frac{T_m - T_1}{\Delta_1} \cdot \lambda_1(T) \\q_2 &= \frac{T_1 - T_2}{\Delta_2} \cdot \lambda_2(T) \\q_i &= \frac{T_{i-1} - T_i}{\Delta_i} \cdot \lambda_i(T) \\q_0 &= \alpha_{\text{в}}(T_{\text{нов}} - 20)\end{aligned}\tag{6.10}$$

6.9.1. Теплові втрати тигля

Для визначення теплових втрат через стінку розраховується величина внутрішньої $S'_{\text{вн}}$ і зовнішньої поверхні $S''_{\text{н}}$ цієї стінки.

Таким чином, розраховуючи окремо втрати з різних ділянок тигля отримуємо:

6.9.1.1. Втрати тепла з дна тигля

$$P_{\text{т.дн}} = 7,107 \text{ кВт.}$$

6.9.1.2. Втрати з бокових стінок тигля

$$P_{\text{т.см1}} = 4,544 \text{ кВт,}$$

$$P_{\text{т.см2}} = 3,744 \text{ кВт,}$$

$$P_{\text{т.см3,4}} = 6,521 \text{ кВт.}$$

6.9.1.3. Втрати з вікна тигля

$$P_{m.o} = 1,385 \text{ кВт.}$$

6.9.1.4. Втрати з кришки тигля

$$P_{m.kr} = 11,859 \text{ кВт.}$$

6.9.1.5. Загальні втрати тигля

$$P_m = 7,107 + 4,544 + 3,774 + 6,521 + 6,521 + 1,385 + 11,859 = 41,711 \text{ кВт.}$$

6.9.2. Теплові втрати з каналу установки.

Футеровка насоса складається із двох шарів: МК-90 ($\lambda_1=1,76-0,23 \cdot 10^{-3} T_{cp}$) і азбеста ($\lambda_2=0,2+0,22 \cdot 10^{-3} T_{cp}$). Розв'язавши систему рівнянь (3.14) для двохшарової стінки каналу, отримуємо:

6.9.2.1. втрати з верхньої частини каналу (без врахування на ній охолоджувальної системи):

$$P_{вер.к} = 5,639 \text{ кВт.}$$

6.9.2.2. Втрати з нижньої частини каналу:

$$P_{низ.к1} = 1,990 \text{ кВт,}$$

$$P_{низ.к2} = 5,975 \text{ кВт.}$$

6.9.2.3. Втрати з бокової поверхні каналу:

$$P_{бок.к} = 4,9224 \text{ кВт.}$$

6.9.2.4. Теплові втрати в бік індукторів:

$$P_{індк} = 12,7596 \text{ кВт}$$

6.9.2.5. Теплові втрати випромінюванням із зливного носка:

$$P_{випр} = k_u \cdot S_u \left[\left(\frac{T_M}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_6}{100} \right)^4 \right] \cdot \tau = 2,51 \text{ кВт}$$

6.9.2.6. Загальні втрати теплоти з каналу

$$P_k = 5,639 + 1,99 + 5,975 + 4,9224 + 12,7596 + 2,51 = 33,796 \text{ кВт}$$

6.9.2.7. Теплові втрати з тигля і каналу

$$P_{ТК} = 33,796 + 41,711 = 75,507 \text{ кВт.}$$

6.9.2.8. Невраховані втрати – прийнято 20% і становлять 15,101 кВт.

6.9.2.9. Загальні теплові втрати:

$$\sum P_{ТК} = 75,507 + 15,101 = 90,608 \text{ кВт.}$$

Отже, мінімальна потужність індуктора в режимі зберігання металу з урахуванням електричного ККД системи індуктування струму становить: 91 кВт.

Висновок

У роботі розглядаються питання конструювання та розрахунку магнітодинамічного насоса моделі МДН-6А для нагріву й дозованої розливки алюмінієвих сплавів. Проведено аналіз особливостей роботи насоса з алюмінієвими розплавами, визначено основні конструктивні параметри та виконано розрахунки, необхідні для забезпечення ефективної роботи установки.

Список літератури

1. Бойко І. І., Кобиляцький В. С. Основи ливарного виробництва. – Київ: Либідь, 2016. – 320 с.
2. Кузьменко В. І. Процеси та обладнання ливарного виробництва кольорових металів. – Харків: НТУ "ХП", 2019. – 284 с.
3. Герасименко С. І., Левченко О. В. Автоматизація процесів ливарного виробництва. – Дніпро: НМетАУ, 2020. – 198 с.
4. Іванченко П. П., Смирнов Ю. О. Технологія лиття у кокіль. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 256 с.
5. Петренко М. Ю. Механізація та автоматизація у ливарному виробництві: навчальний посібник. – Київ: НАУ, 2021. – 212 с.
6. Хома Я. Я. Алюмінієве литво: властивості, технології, обладнання. – Івано-Франківськ: Прикарпатський нац. ун-т, 2017. – 228 с.
7. Ткаченко В. П. Спеціальні види литва: литво за виплавленими моделями, під тиском, у кокілі. – Краматорськ: ДДМА, 2020. – 190 с.
8. Семенов О. А., Дяченко Л. О. Лиття під тиском: теорія і практика. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 176 с.
9. Національний стандарт України ДСТУ EN 13700:2020. Устаткування ливарне. Вимоги до карусельних кокільних машин. – Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2020. – 34 с.
10. Ливарне виробництво кольорових металів: збірник наукових праць / За ред. В. В. Чумака. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2022. – 276 с.
11. Бондаренко С. В. Технологія спеціального литва кольорових сплавів. – Суми: СумДУ, 2021. – 210 с.
12. Черненко І. І. Кокільне литво: організація, механізація, автоматизація – Полтава: ПНТУ, 2019. – 198 с.