



METALLURGICAL TECHNOLOGY

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.301156

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТВЕРДОСТІ Ті-ЛЕГОВАНОГО ЧАВУНА ДЛЯ ЛИТИХ ДЕТАЛЕЙ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО АБРАЗИВНОГО ТЕРТЯ (стор. 6–9)

Барсук А. С.

Об'єктом дослідження є зносостійкий чавун, призначений для литих деталей, що працюють за умов інтенсивного абразивного тертя в процесі експлуатації. Прикладами таких деталей можуть бути лопатки змішувачів різного функціонального призначення, до експлуатаційних властивостей яких відносять стійкість, яка залежить від твердості, що визначається за шкалою HRC. Для надання таким литим деталям зносостійких властивостей чавуни, з яких вони виготовляються, легують елементами, що сприяють формуванню карбідів різного складу: W, V, Mo, Ti тощо. Основною проблемою, яка перешкоджає цілеспрямованому вибору матеріалів, є неповне знання щодо впливу хімічного складу на властивості, зокрема зносостійкість, що перешкоджає обгрунтованому критерію вибору.

Методами регресійного аналізу отримана математична модель, що включає рівняння регресії виду $HRC=f(C; C_{eq}; Ti)$, яка пов'язує вміст в чавуні вуглецю, титану та вуглецевий еквівалент та твердість. Отримана модель дозволяє здійснювати цілеспрямований вибір хімічного складу, що забезпечує задану величину HRC, від якої залежить зносостійкість. Оптимізація хімічного складу, виконана за цією моделлю, дозволила визначити, що хімічний склад, що забезпечує максимум твердості $HRC=49$, знаходиться за межами області планування: $C=3.54\%$, $C_{eq}=3.95\%$, $Ti=3.56\%$. Встановлено, що таке ж значення твердості може бути отримано і всередині розглянутої області планування, яка має доволний вигляд, забезпечений доступними умовами пасивного експерименту. Відповідно до наявних експериментальних даних, значення вхідних змінних, що дорівнюють $C=3.34\%$, $C_{eq}=3.727\%$, $Ti=0.73\%$, забезпечують отримання твердості на рівні $HRC=49$. Такі альтернативні варіанти щодо складу та властивостей можуть свідчити про те, що поверхня відгуку $HRC=f(C; C_{eq}; Ti)$ має складний вигляд, який потребує додаткових досліджень.

Ключові слова: зносостійкість чавуну, твердість HRC, легування чавуну, хімічний склад чавуну.

MECHANICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.301709

ВНЕСОК ПОШИРЕННЯ ЗСУВНОЇ ХВИЛІ В ПІЩАНОМУ ПОКЛАДІ У МІКРОМЕХАНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ (стор. 10–18)

Said Derbane, Mouloud Mansouri, Salah Messast

Об'єктом дослідження є поширення вертикальних хвиль у піщаному покладі. Ця стаття направлена на аналіз поширення вертикальних хвиль у піщаному покладі за допомогою мікромеханічного моделювання, яке враховує міжзернове ковзання під час деформації. Така задача, яка є частиною загальної теорії поширення хвиль у ґрунті, вже давно аналізується з використанням континуальних моделей, що базуються на наближених законах поведінки. Для цього розроблено 2D модель методу дискретних елементів (МДЕ). Модель МДЕ базується на молекулярній динаміці з використанням елементів круглої форми. Міжзеренні нормальні сили на контактах розраховуються за лінійним законом в'язкопружності, а дотичні сили – за ідеально пластичною в'язкопружною моделлю. Для врахування демпфування руху кочення зерен використовується модель тертя кочення. Реалізовано різні граничні умови профілю: корінна порода в основі, вільна поверхня вгорі та періодичні границі в горизонтальному напрямку. Піщаний поклад піддається гармонічному збудженню біля основи. Використовуючи цю модель, спочатку визначають основну та резонансну частоту покладу. Першу визначено з низькоамплітудних вільних коливань, а другу – шляхом проведення тесту зі змінною частотою збудження. Відзначено, що між цими двома частотами існує значний розрив, який можна пояснити деградацією модуля зсуву ґрунту поблизу резонансу. Така деградація добре доведена в класичній динаміці ґрунтів. Далі досліджено вплив висоти покладу та його залягання на резонансну частоту та коефіцієнт динамічного підсилення вільної поверхні. Отримані результати показали, що резонансна частота обернено пропорційна товщині покладу, тоді як коефіцієнт динамічного підсилення R_d зростає зі збільшенням товщини покладу. З іншого боку, зі збільшенням концентрації осад стає жорсткішим, що призводить до зменшення коефіцієнта підсилення. Такий результат узгоджується з теоретичними уявленнями про те, що найжорсткіші профілі, такі як гірські породи, не підсилюють сейсмічні рухи.

Ключові слова: мікромеханічна модель, піщаний поклад, метод дискретних елементів, поширення зсувних хвиль.

MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.307330

ДОСВІД І ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛАЗОВОГО МЕТОДУ УВ'ЯЗУВАННЯ ФОРМИ ТА РОЗМІРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАЗЕРНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ В ЛІТАКОБУДУВАННІ (стор. 19–26)

Луткіх Б. В., Майорова К. В., Павленко О. А., Толстой С. А., Воронько І. О.

Об'єктом дослідження є застосування методу безпласового ув'язування форм та розмірів з використанням лазерних вимірювальних засобів для зниження трудомісткості та циклу монтажних робіт. Проведено дослідження точності геометричних параметрів консольної частини крила та технологічного оснащення на різних етапах виробництва. Проблема полягає в створенні методики застосування лазерних вимірювальних систем в літакобудуванні на етапі монтажу технологічного оснащення для мінімізації впливу

на точність розмірів складених деталей агрегатів. Отримано такі результати: проаналізовано переваги застосування методу безплатового ув'язування в сучасному виробництві авіаційної техніки, який дає змогу скоротити цикл підготовки в 2–3 рази. Проведено дослідження ефективного застосування координатно-вимірювальної машини (КВМ) Laser Tracker при виготовленні консольної частини крила (КЧК) літака серії АН на всіх етапах його складання та контролю точності геометричних параметрів у порівнянні з теоретичною майстер-геометрією (МГ).

Практична значимість досліджень полягає в тому, що запропонована методика застосування лазерних вимірювальних систем при монтажі оснащення дозволяє знизити до мінімуму вплив на точність малої жорсткості каркасів. Це дозволяє також знизити деформування оснастки від маси деталей агрегатів, що складаються, та температурних деформацій, що дозволяє забезпечити зниження похибки монтажу до $\pm 0,1$ мм. Також застосування даної методики дозволяє входити в систему координат літака, не проводячи його попереднє нівелювання, здійснювати монтаж та контроль встановлення на фюзеляж крила, кіля, стабілізатора, двигунів та шасі. В цілому, застосування методу безплатового ув'язування форм і розмірів з використанням лазерних вимірювальних засобів в літакобудуванні дозволяє знизити трудомісткість і цикл монтажних робіт до 10 разів.

Ключові слова: точність обводів літака, лазерні засоби контролю, електронна модель агрегату, безплатовий метод складання, лазерний трекер, нівелювання літака.

ELECTRICAL ENGINEERING AND INDUSTRIAL ELECTRONICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.304400

ЧИСЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ LiFePO₄ БАТАРЕЙ (стор. 27–34)

Бурик М. П., Лободзинський В. Ю., Бурик І. П., Лісовий О. Р.

Об'єктом досліджень є фізичні процеси накопичення електричної енергії в Li-іон батареї. Проблема, що вирішується в роботі, пов'язана з відсутністю надійних математичних моделей акумуляторних батарей, що призводить до появи небажаних ефектів або аварійних ситуацій під час зміни режимів роботи.

В ході роботи розглянуто моделі Li-іон батареї на основі електрохімічної теорії та електричних схем. Представлено шість найбільш поширених еквівалентних схем заміщення акумуляторних батарей. Наведено переваги та недоліки розглянутих схем заміщення. Встановлено, що математична модель з подвійною поляризацією найбільш точно описує роботу батареї наприкінці циклу розрядження та зарядження у порівнянні з моделлю Тевеніна першого порядку, RC моделлю та моделлю акумулятора з активним опором. Досліджено фізичні процеси в акумуляторній батареї під час імпульсного розряду, яка є основною частиною в системах накопичення електричної енергії на основі електрохімічної технології. Математичне моделювання проведено в програмному комплексі Matlab за допомогою пакету прикладних програм Simulink. Розглянуто залежність параметрів еквівалентної схеми заміщення літій-іонної батареї за моделлю Тевеніна другого порядку від температури навколишнього середовища та стану заряду SOC. Встановлено, що значення ЕРС E більш залежить від зміни SOC, ніж від температури. В свою чергу активний опір R_{OM} демонструє більшу залежність від температури, ніж від зміни SOC. При високих температурах значення опору зменшується. Параметри R_1 та C_1 , що характеризують електрохімічну поляризацію, змінюються в діапазоні від 10 до 75 % SOC. Параметри R_2 та C_2 , які залежать від концентраційної поляризації, змінюються на інтервалах від 0 до 25 % SOC та 75 до 100 % SOC.

Розроблені в роботі рекомендації з вибору моделі Li-іон батареї можуть бути використані на практиці. Встановлені залежності допоможуть більш якісно проектувати системи накопичення електричної енергії на основі електрохімічної технології.

Ключові слова: літій-іонна акумуляторна батарея, електрична модель, параметри еквівалентної схеми заміщення, стан заряду, температура.

TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.306879

ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ АРОЧНОГО ВУГЛЕПЛАСТИЧНОГО КРІПЛЕННЯ ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ ДЛЯ УМОВ ШАХТИ «ДНІПРОВСЬКА» У СЛАБОМЕТАМОРФІЗОВАНИХ ПОРОДАХ (стор. 35–40)

Цівка Є. С.

Об'єктом дослідження є арочне вуглепластичне кріплення постійного перетину у шаруватому масиві слабометаморфізованих порід. У роботі представлений аналіз можливого застосування арочного вуглепластичного кріплення постійного перетину у шаруватому масиві слабометаморфізованих порід для умов шахти «Дніпровська» (Україна) навколо підготовчої виробки. Аналіз стійкості гірничих виробок шахт Західного Донбасу показав, що необхідно модернізувати систему кріплень шляхом впровадження вуглепластичного волокна. Основною причиною низької стійкості виробок є недостатня несуча здатність кріплення, при цьому її технічні характеристики не враховують складні гірничо-геологічні умови. Збільшення напружень на глибині видобутку пов'язане з безпекою при ударі, що становить серйозну проблему під час видобування. Металеві арочні кріплення деформовані та мають високу навантаженість порід та потребують високого рівня енергопоглинання, тобто бути дуже міцним та гнучким, щоб витримувати значні навантаження та уникати великих зміщень стінок виробки.

Вуглепластик здатний забезпечити стійкість системи кріплення та усунути наявні недоліки типових металевих арочних кріплень, а саме: високу працездатність, низьку швидкість виробництва та високу вагу конструкції. У роботі було проведено аналіз напружено-деформованого стану для заданих умов та арочного вуглепластичного кріплення постійного перетину за допомогою програмного продукту SolidWorks з урахуванням фізико-механічних властивостей вуглепластику та шаруватих порід. З огляду на

результати лабораторних досліджень еквівалентного шаруватого масиву на пресі з пластиків типу PLA та вуглепластичного волокна було встановлено залежність деформацій еквівалентного масиву при збільшенні навантаження.

Застосування арочних вуглепластичних кріплень різних перетинів здатне забезпечити стійкість виробки шляхом зменшення інтенсивності напружень навколо її контуру. На основі цього дослідження було запропоновано раціональне арочне композитне кріплення постійного перетину для умов шахти «Дніпровська». Отримані результати вказують на потребу подальших досліджень, які будуть розглянуті в майбутніх роботах авторів.

Ключові слова: гірнична виробка, стійкість виробки, шаруватий масив, вуглепластичне волокно, вуглепластик, раціональні параметри.

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.307613

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ З МЕТОЮ ПОШУКУ РЕЗЕРВІВ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ (стор. 40–46)

Жданюк Н. В., Племяніков О. М.

Об'єктом дослідження є робота скловарної печі. У роботі проводилось моделювання роботи скловарної печі шляхом зміни техніко-економічних показників її роботи з метою оптимізації технологічних процесів виготовлення скляних виробів, підвищення енергоефективності процесу та зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище. Скловарні печі – це складні тепло-технічні агрегати, для роботи яких потрібна велика кількість енергії. Тому, підвищення їх ефективності є основним завданням наших досліджень. У роботі проведено комп'ютерне моделювання теплових процесів у печі, обраховані та проаналізовані теплові баланси, а також проведено аналіз показників роботи печі після зміни та вдосконалення технологічних режимів процесів горіння, варки скла та конструкції печі. Дослідження показали, що для підвищення техніко-економічних показників роботи скловарних печей доцільно провести додаткову теплоізоляцію огорожень печі. Теплоізоляція склепіння підвищує ККД печі на 2–3 %, а теплоізоляція решти ділянок печі в сумі дозволяє підвищити у сумі ККД теплотехнічного агрегату до 3 %. Такі заходи покращують санітарно-технічні умови роботи персоналу у машинно-ванному цеху. Дослідження показали, що ефективність печі суттєво підвищує додатковий підігрів повітря, що йде на спалювання палива. Так, підвищення температури повітря на 100 °C підвищує ККД печі приблизно на 2,5 %. Однак такий захід можливий при відповідному збільшенні об'єму насадок регенераторів. Суттєвого підвищення ефективності печі вдалося досягти при встановленні додаткового електричного підігріву. Це дозволяє знизити загальні енергетичні витрати, і при цьому введення кожних 10 % додаткового електричного підігріву підвищує ККД печі до 3 % та покращує якість скломаси. Такий додатковий підігрів може бути рекомендований в обсязі 20–30 % від загальних витрат тепла на роботу печі. Аналіз отриманих результатів показав досить хорошу збіжність результатів, що свідчить про прийнятну адекватність моделей. Отримані результати моделювання процесів дозволяють обрати оптимальні параметри конструкції та роботи скловарної печі. Результати роботи можуть бути використані на практиці для проектування ефективних скловарних печей різного призначення та продуктивності.

Ключові слова: скловарна піч, регенератори, горіння, електричний підігрів, комп'ютерне моделювання технологічних процесів.

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.307628

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ КОЕФІЦІЄНТА ВИЛУЧЕННЯ НАФТИ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ ЛІТОЛОГІЧНИХ ДАНИХ (стор. 47–52)

Мартуся О. В., Цветкович Б.

Об'єктом дослідження у роботі є процес вилучення нафти при заводненні. Метод Баклі-Лeverетта, який широко використовується для оцінки нафтовидобутку при заводненні, має певні обмеження, що призводить до невизначеності результатів. У цій роботі пропонується розширити алгоритм Баклі-Лeverетта шляхом інтеграції літологічних даних. Цей підхід дозволяє врахувати вплив геологічних характеристик пласта на процес витіснення нафти водою, що призводить до значного підвищення точності прогнозування коефіцієнту нафтовидобутку. Ефективність запропонованого методу підтверджена на основі аналізу даних реального нафтового родовища.

Представлено методологію обрахунку коефіцієнту вилучення нафти при заводненні з використання літологічного розчленування. У цій роботі аналітично було встановлено поетапність дій визначення коефіцієнту вилучення нафти, що досягає певного ступіня точності завдяки включенню літологічної характеристики проникної зони пласта. Основний розрахунок літологічного розповсюдження по пласту виконано за допомогою методу Kriging. Для підтвердження точності методу Баклі-Лeverетта з урахуванням літологічного розчленування запропоновано використання аналізу даних, включаючи експериментальну гістограму та теоретичний графік нормального розподілу. Для аналізу даних згенеровано сто випадків літологічного розподілу за допомогою методу Sequential Indicator Simulation.

Порівняльний аналіз даних експериментальної гістограми та теоретичного графіку нормального розподілу визначення коефіцієнтів вилучення нафти методом Баклі-Лeverетта для випадків з урахуванням літологічного розчленування та без нього дозволяє кількісно оцінити точність обох досліджуваних варіантів. На основі реального нафтового родовища показано, що точність коефіцієнтів вилучення нафти методом Баклі-Лeverетта з урахуванням літологічного розчленування перевищує аналогічний метод без урахування літологічного розчленування на 11 %.

Ключові слова: коефіцієнт вилучення нафти, метод Баклі-Лeverетта, заводнення, криві фракційних потоків, нафтовидобуток, літофаціальні дані.

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.307806

ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОЛИВАНЬ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ В ПРОЦЕСІ БУРІННЯ (стор. 53–60)

Світлицький В. М., Ягодовський С. І., Тітлов О. С.

Об'єктом дослідження є вібраційні процеси певного походження у бурильній колоні з типовими конструктивними відхиленнями залежно від режимних параметрів буріння. Бурильна колона являє собою коливну систему з нескінченим числом ступенів свобод

багатофакторної системи. Вичерпне дослідження коливних процесів у бурильній колоні неможливо ні аналітично, ні експериментально, у зв'язку з специфікою поглиблення вибою у різних породах, конструкцією свердловини, її форми тощо. Тому на практиці намагаються одержати вирішення задач динаміки бурильної колоні для ідеалізованої системи та при збереженні головних коливних властивостей розв'язання деяких задач стрижневої системи. Проведена робота була направлена на експериментальні дослідження коливаний бурильної колоні в процесі буріння.

Показано, що ефективність використання гідродинамічної кавітації потребує розробки способів, і пристроїв для інтенсифікації процесу буріння свердловини. Доведено, що конструкція кавітаційного генератора органічно вписується у наявне обладнання для буріння свердловини та дозволяє інтенсифікувати технологічні процеси при більш низьких питомих енерговитратах. Виявлено, що усі коливні процеси, які виникають в бурильній колоні, носять випадковий характер і їх необхідно розглядати з застосуванням математичного апарату теорії випадкових коливаний.

Дослідження вібрацій під час буріння свердловини показує, що вібрації можна рахувати, як випадкові стаціонарні процеси, так як перехідні режими мають достатню малу тривалість для однорідних порід з фіксованими режимами буріння. Аналіз вібрацій елементів бурильної колоні на основі випадкових коливаний у цілому ряді випадків дозволяє підвищити достовірність визначення вібраційної надійності елементів бурильної колоні. Доказано, що реакція елементів бурильної колоні на широкосмугову випадкову вібрацію можна визначити, як сумарну дію декількох вузькосмугових випадкових вібрацій.

Ключові слова: буріння свердловини, бурильна колона, вібраційна надійність, гідродинамічна кавітація, конструкція кавітаційного генератора.