

найвищу питому продуктивність у порівнянні з усіма існуючими способами. Питома витрата умовного палива на випаровування 1кг вологи приблизно 0,068кг, а питома продуктивність близько 18 т/ч.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, проаналізувавши різновиди сушки тонкодисперсних матеріалів ми можемо помітити, що кожен з видів має свої переваги та недоліки в процесі експлуатації, але застосування методу сушіння тонкодисперсних матеріалів за допомогою електричного струму, який пропускають безпосередньо через шар вологого матеріалу, має ряд переваг на відміну від існуючих, що свідчить про доцільність його впровадження.

Перевагами даного способу є: найменша витрата умовного палива для випаровування 1 кг вологи, низькі економічні витрати при впровадженні на виробництво, низький рівень викидів забруднених газів в атмосферу.

В подальшому планується встановлення закономірностей даного методу для поліпшення якості кінцевого продукту і підвищення енергоефективності процесу сушки тонкодисперсних матеріалів.

Список літератури

1. Сажин Б.С. Научные основы техники сушки / Б.С. Сажин, В.Б. Сажин // М.: Наука. – 1997. – 448 с.
2. Коновалов, В.И. Новые зарубежные исследования в области сушки и термообработки: результаты и тенденции (1. Библиография. 3. Программное обеспечение) / В.И. Коновалов, Т. Кудра, Н.Ц. Гатапова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 3. – С. 530–537
3. Каварма И.И., О.В. Замыцкий // Деп. рук. в ГНТБ Украины, 1994
4. Замыцкий О.В. Экологически чистый способ доводки тонкодисперсных продуктов обогащения по влажности / Замыцкий О.В. // МГУ. - М.- 1995.-№ 3. – С. 82-84
5. Helmuth Resch High-frequency electric current for drying of wood – historical perspectives. Maderas. Ciencia y tecnología 8(2). –2006. – с.67-82
6. Arun S. Mujumdar Innovation in drying techniques and future trends. Springer-Verlag Tokyo 2001 с.63-75
7. Декл. пат. 2303219. Российская Федерация, МПК F26B3/092. Сушилка с виброкипящим слоем / Кочетов С.С.; Кочетова М.О.; Львов Г.В.; Кочетов С.С.; Кочетов О.С. – Опубл. 20.07.2007
8. Киселева Т.Ф. "Технология сушки: Учебно-методический комплекс", Киселева Т.Ф. // Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. - Кемерово, 2007. - 117 с.
9. Данилов О.Л. Экономия энергии при тепловой сушке. / Леончик Б.И., Данилов О.Л., // М. - 1986.- 135 с.
10. Дерягин Б.В. Вода в дисперсных системах/ Б.В. Дерягин, Н. В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко и др. – М.: Химия, 1989.– 288 с.
11. Корягин А.А. Сушильные аппараты и установки, каталог./ Корягин А.А. // 1989.- с. 11
12. Рудобашта С.П. Математическое моделирование процесса конвективной сушки дисперсных материалов/ Рудобашта С.П. // Известия Академии наук. Энергетика.- 2000. - №4.- С. 98-109
13. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов/ Фролов В.Ф. // Л.: Химия. - 1987.- 208 с.
14. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности / Лыков М.В. // М. : Химия, 1970. – 429 с
15. Лыков А.В. Теория тепло- и массопереноса / Лыков А.В. , Михайлов Ю.А. // М. : Госэнергоиздат, 1963. – 536 с.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 37.091.355.2.199

Є.О. НЕСМАШНИЙ, д-р техн. наук, проф., Г.І. ТКАЧЕНКО, канд.техн.наук, доц.
К.В.ГЕРАСИМОВА, канд.техн.наук, доц., Криворізький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Мета. В статті науково обґрунтовано необхідність впровадження інноваційних педагогічних технологій у процес професійної підготовки студентів, вибір яких пов'язаний з інформаційними технологіями та студентів технічних спеціальностей. У фізиці історично моделювання є одним із важливіших методів дослідження. Тому висвітлюється проблема створення на заняттях з фізики такого освітнього середовища, в якому органічно поєднуються традиційні і комп'ютерні методи навчання. Одним з найбільш надійних способів аналізу реального фізичного процесу є математичне та імітаційне моделювання. Добре побудована модель більш доступна для досліджень ніж реальний об'єкт. Розглядається доцільність використання чисельних методів моделювання при вивченні фізичних процесів з метою активізації пізнавальної діяльності та розвитку наукового мислення студентів.

Методи дослідження. Зроблений аналіз існуючих навчальних комп'ютерних програм, стандартних пакетів прикладних програм, сучасних мов програмування і проведений педагогічний експеримент висвітлив психологічні і технічні проблеми пов'язані з інформатизацією освіти.

Наукова новизна. Запропоновано спосіб використання методу імітаційного моделювання для активізації пізнавальної самостійності студентів при рішенні практичних задач з фізики за професійним спрямуванням.

Практичне значення. Розроблено блок теоретичного матеріалу та банк практичних завдань з фізики за професійним спрямуванням, який дозволяє студентам використовувати прикладні пакети створених програм та мови програмування на практиці при моделюванні та рішенні конкретних фізичних задач.

Результати. Методологічно обгрунтована доцільність та ефективність використання методу імітаційного моделювання при вивченні курсу фізики в рамках учбового процесу студентами ІТ- профілю та технічних спеціальностей. Експериментально виявлені умови та проблеми впровадження нових інформаційних технологій при вивченні фізики для студентів першого курсу. Доведено, що в умовах швидкого розвитку інформаційних технологій необхідно активізувати використання студентами сучасних знань при вивченні фундаментальних дисциплін, що буде позитивно сприяти досягненню більш високого рівня компетентності та пізнавальної активності. Інтеграція ІТ-дисциплін і фізики стимулює розвиток творчого і наукового мислення студентів, підвищує інтерес до вивчення предмету. Отримані результати, може бути використані для подальшого розвитку сучасних педагогічних методів навчання в закладах вищої освіти, що дозволить забезпечити більш якісні результати при отриманні знань по фізиці.

Ключові слова: освітнє середовище, фізика, інформаційні технології, комп'ютерні програми, чисельні методи, імітаційне моделювання, фізичні процеси.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-88-94

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для студентів вищих закладів освіти навички наукового мислення грають дуже важливу роль, коли виникає необхідність дослідження процесів, що відносяться до «суміжних дисциплін», які належать до різних областей науки, техніки, екології, геомеханіки, геології, гірництва та ін. Процес інтеграції дисциплін відбувається найефективніше, коли майбутній спеціаліст володіє науковими і обчислювальними методами і принципами наукового мислення.

Проблема формування у студентів пізнавальної активності, як майбутніх інженерів, полягає у розриві між методами отримання наукових і практичних результатів і методами їх викладання на аудиторних заняттях. Підручники, методичні посібники і лекції базуються на тезисному викладенні готових наукових результатів і фактів. Складається враження, що фізичні закони уявляють собою логічно необхідні твердження, для обгрунтування яких немає необхідності спиратися на експериментальні факти. Є ризик у майбутньому знехтувати вирішенням конкретних задач, які складають основу будь якої практичної діяльності у житті.

В умовах глобального скорочення аудиторних годин на вивчення фізики, найскладнішими задачами викладачів є наступні: - мотивувати студентів до самостійної роботи. З розвитком комп'ютерної техніки і подорожчанням експериментальної та лабораторної бази приладів роль чисельного моделювання фізичних процесів в навчанні значно підвищується. Для студентів технічних спеціальностей комп'ютер як прилад для повноцінної імітації реального фізичного процесу є необхідною складовою в навчанні. Але не всі студенти, а фізика вивчається на першому курсі, в достатній мірі володіють мовами програмування. Тому використання комп'ютерів на заняттях має дуже багато обмежень. З одного боку це пов'язано з недостатньою розробкою програмних засобів та навчальних комп'ютерних програм. З іншого – недостатнім володінням студентами комп'ютерними та інформаційними технологіями. Актуальною є проблема створення на заняттях такого освітнього середовища, в якому органічно поєднуються традиційні і комп'ютерні методи навчання. В умовах малого аудиторного навантаження масовому впровадженню електронних технологій в саму організацію навчального процесу, на наш погляд, заважають наступні фактори:

залежність від технічних засобів. Не всі учбові заклади мають достатню кількість аудиторій з потрібним оснащенням.

низький рівень комп'ютерної грамотності. Це відноситься як до студентів так і до викладачів.

низька вмотивованість до самостійного навчання та опрацювання матеріалу.

Аналіз досліджень і публікацій. У фізиці історично моделювання є одним із важливіших методів дослідження. Поряд з традиційним розділенням фізики на експериментальну і теоретичну сьогодні чітко і впевнено можна виділити третій фундаментальний розділ – обчислювальну фізику і комп'ютерне моделювання. Так тільки за допомогою комп'ютерного моделювання

фізики змогли змодельовати бозон Хікса, відкрити гравітаційні хвилі. Але проведений аналіз навчальних комп'ютерних програм, стандартних пакетів прикладних програм і проведений педагогічний експеримент висвітлив психологічні і технічні проблеми пов'язані з інформатизацією освіти.

Студентів на лекціях і практичних заняттях завжди більш цікавить рішення задач, які виникають в практичній діяльності людини або при дослідженні природних явищ. Не всі природні явища можна відтворити експериментально, на фізичних моделях. Надійним шляхом для таких досліджень сьогодні вважається імітаційне моделювання. Після постановки завдання на фізичному рівні відбувається процес ідеалізації і схематизації явища. Реальні процеси і явища часто характеризуються обмеженою кількістю спостережень, похибками вимірювань, і завжди лише наближеним характером наших фізичних уявлень про процеси, які відбуваються у тій чи іншій ситуації. Тому проведення експериментів на фізичних моделях не завжди адекватно реальним ситуаціям. Це – самий складний і трудомісткий тип моделей, що є основним недоліком цього методу. Як наслідок, виникає необхідність описувати і досліджувати реальну ситуацію за допомогою інших моделей. [1- 4].

У моделюванні всі завдання і моделі можна умовно поділити на два великих класи: інформаційні моделі і аналітичні моделі [4].

До інформаційних моделей відносяться всі моделі і задачі, що пов'язані зі збиранням, зберіганням та відображенням інформації про об'єкт, що досліджується.

Підвищення ефективності створення моделі ґрунтується на інтенсифікації самого процесу дослідження, тобто за рахунок більш повного використання вихідної інформації, створення різноманітних моделей для прогнозування фізичних процесів. Необхідність використання прогнозних моделей виникає у випадках, коли отримати рішення на реальному об'єкті дослідження дорого, складно або взагалі неможливо.

Одним з найбільш надійних способів аналізу реального фізичного процесу є математичне моделювання. Добре побудована модель більш доступна для досліджень ніж реальний об'єкт. Але математична модель є завжди абстрактною ідеалізацією об'єкта, і, якщо бажають, щоб ця модель дозволяла вирішити поставлене завдання, необхідні деякі припущення, які її спрощують. Тому особлива увага повинна бути звернена на те, щоб модель служила дійсним відображенням даної задачі. В роботах [5,6] розроблені загальні закони побудови моделей механіки суцільного середовища та руху ідеального газу, що знаходиться о двох термодинамічних станах, по трубі. Ці моделі повністю формалізовані і використовують спеціальні варіаційні рівняння. Студентам добре відомі термодинамічні закони і закони збереження енергії та імпульсу, але вивчення відповідного математичного апарату не передбачено робочими програмами.

На жаль, практично всі моделі, які засновані на використанні лише аналітичних методів, містять у собі безліч спрощень і схем при досить складних і громіздких обчисленнях. Це дозволяє оцінити процеси, які характерні для техногенних масивів, лише на якісному рівні.

У загальному випадку структуру прогнозної моделі ми можемо представити у наступному вигляді: $E = \{f(x_i, y_i), i = \overline{1, n}\}$, де E - результат дії моделі; x_i змінні і параметри, якими ми можемо керувати; y_i - змінні і параметри, якими ми керувати не можемо; f - функціональна залежність між x_i і y_i , що визначає величину E ; n - кількість параметрів.

Функціональні залежності описують поведінку змінних і параметрів у межах компонента або виражають співвідношення між компонентами системи. Ці співвідношення за своєю природою є або детерміністськими, або стохастичними. Детерміністські співвідношення - це тотожності або означення, що встановлюють залежність між визначеними змінними або параметрами в тих випадках, коли процес на виході системи однозначно визначається заданою інформацією на вході. На відміну від цього стохастичні співвідношення являють собою такі залежності, які при заданій вхідній інформації дають на виході невизначений результат.

У роботах [6-9] імітаційне моделювання визначено як експериментування з моделлю реальної системи, управління якою пов'язано з прийняттям рішень в умовах невизначеності. Вперше метод імітаційного моделювання було застосовано у 70-х роках минулого століття для вирішення завдань організації виробничих процесів в кар'єрах, він мав назву "статистичного моделювання". Однак цей метод досить нерозповсюджений. Причиною цього можна вважати,

по-перше, неможливість надання на той час адекватного математичного інструментарію для моделювання складних природних та економічних систем.

По-друге, практично будь яка технологія повинна накопичити наукові результати, які будуть мати реальний практичний інтерес. На сьогодні розроблений теоретичний фундамент і дослід вирішення прикладних фізичних задач свідчать про перспективність використання імітаційного моделювання для дослідження функціонування різних систем на рівні студентів IT- профілю.

Імітаційні моделі не здатні формувати свій власний розв'язок в тому вигляді, у якому це має місце в аналітичних моделях, а можуть лише служити засобом для аналізу функціонування системи в умовах, які нами визначаються. Отже, імітаційне моделювання - не теорія, а потужний інструмент дослідження складних систем.

Безпосереднє експериментування на реальній системі усуває багато труднощів, якщо необхідно забезпечити відповідність між моделлю і реальними умовами; однак недоліки такого експериментування іноді досить значні, оскільки:

- воно може порушити встановлений порядок роботи об'єкта;
- може виявитися складною підтримка постійних робочих умов при кожному повторенні експерименту або протягом усього часу проведення серії експериментів;
- для одержання однієї і тієї ж величини вибірки (а, отже, і статистичної значимості результатів експериментування) можуть знадобитися надмірні витрати часу і засобів;
- при експериментуванні з реальними системами може виявитися неможливим дослідження безлічі альтернативних варіантів.

З нашої думки, цих причин достатньо, і є доцільним застосування імітаційного моделювання при наявності кожної з наступних умов:

- не існує закінченої математичної постановки даної задачі, або ще не розроблені аналітичні методи рішення сформульованої математичної моделі;
- за наявністю аналітичних методів, математичні процедури настільки складні і трудомісткі, що імітаційне моделювання надасть більш простий спосіб рішення задачі;
- аналітичні рішення існують, але їхня реалізація неможлива внаслідок недостатньої математичної підготовки наявного персоналу;
- крім оцінки впливу визначених параметрів, бажано здійснити на імітаційній моделі спостереження за ходом процесу протягом визначеного періоду;
- для довгочасно діючих систем або процесів може знадобитися стиск часової шкали. Імітаційне моделювання дає можливість цілком контролювати час досліджуваного процесу, оскільки явище може бути уповільнене або прискорено за бажанням;
- при різних вхідних умовах є можливість рішення задач високого ступеню складності з великим об'ємом обчислень.

Постановка задачі. Вищенаведені міркування і визначили метод імітаційного моделювання можливим для застосування при рішенні практичних фізичних задач.

Викладення матеріалу. Визначено коло цікавих та інтересних фізичних задач і природних явищ, які студенти можуть вирішити за допомогою імітаційного моделювання при наявності розроблених пакетів прикладних програм. Наприклад, потужні грозові розряди в атмосфері, снігові лавини, хвилі цунамі, вторгнення небесних тіл у атмосферу Землі, рух метеоритів; геомеханічні процеси, пов'язані зі стійкістю гірничих масивів (природних і техногенних); Різноманітні деформаційні процеси; плавлення та прокатка сталей та чавуну.

Для правильної організації імітаційного експерименту необхідно володіти наступною інформацією:

- пам'ятати, до якого класу відноситься система, яка моделюється (статична або динамічна, детермінована або стохастична і т.д.);
- визначити, який режим роботи системи цікавить: стаціонарний (сталий) або нестаціонарний;
- знати, протягом якого проміжку часу варто спостерігати за поведінкою (функціонуванням) системи;
- визначити, який обсяг випробувань (тобто повторних експериментів) зможе забезпечити необхідну точність оцінок (у статистичному змісті) досліджуваних характеристик системи.

Можна не особливо замислюючись над перерахованими питаннями, узяти від моделі все «по максимуму» — досліджувати роботу системи в усіх режимах, для усіх можливих поєднань зовнішніх і внутрішніх параметрів і повторювати кожен експеримент сотні разів. Однак користь від такого моделювання невелика, оскільки отримані дані буде дуже важко обробити і проаналізувати, а ще важче прийняти за їх допомогою яке-небудь конкретне рішення. Та й витрати часу на моделювання, навіть з урахуванням швидкодії сучасних комп'ютерів, виявляться надмірними.

Таким чином, планування модельних експериментів переслідує дві основні цілі: скорочення загального обсягу випробувань при дотриманні вимог підвищення інформативності кожного з експериментів окремо.

Пошук плану експерименту відбувається в так званому факторному просторі, тобто безлічі зовнішніх і внутрішніх параметрів моделі, значення яких студент може контролювати в ході підготовки і проведення модельного експерименту. У багатьох випадках фактори можуть носити не тільки кількісний, але і якісний характер. Наприклад, при оцінці користувальницького інтерфейсу такими факторами можуть бути колірна палітра, ступінь підготовленості користувачів і т.д. Тому значення факторів звичайно називають рівнями. Якщо при проведенні експерименту студент-дослідник може змінювати рівні факторів, експеримент називається активним, у протилежному випадку — пасивним.

Кожний з факторів має верхній і нижній рівні, розташовані симетрично щодо деякого нульового рівня. Точка у факторному просторі, що відповідає нульовим рівням усіх факторів, називається центром плану. Інтервалом варіювання фактора називається деяке число J , додавання якого до нульового рівня дає верхній рівень, а віднімання — нижній.

Як правило, план експерименту будується щодо одного (основного) вихідного скалярного параметра Y , що називається змінною, що спостерігається. Якщо моделювання використовується як інструмент ухвалення рішення, то в ролі змінної, що спостерігається виступає показник ефективності. При цьому передбачається, що значення змінної, що спостерігається, отримане в ході експерименту, складається з двох складових: $y = f(x) + e(x)$, де $f(x)$ — функція відгуку (невипадкова функція факторів); $e(x)$ — похибка експерименту (випадкова величина); x — точка у факторному просторі (певне сполучення рівнів факторів).

Змінна y є випадковою змінною, тому що залежить від випадкової величини $e(x)$.

Розглянемо достоїнства і недоліки імітаційного моделювання. Всі імітаційні моделі є моделями типу, так званої, «чорної шухляди». Це означає, що вони забезпечують видачу вихідного сигналу системи, якщо на її взаємодіючі підсистеми надходить вхідний сигнал. Тому для одержання необхідної інформації або результатів необхідно здійснювати «прогін» імітаційних моделей, а не «розв'язувати» їх. Імітаційні моделі не здатні формувати свій власний розв'язок в тому вигляді, у якому це має місце в аналітичних моделях, а можуть лише служити засібом для аналізу поведінки системи в умовах, які визначаються експериментатором.

Отже, імітаційне моделювання – не теорія, а методологія рішення проблем. Імітаційне моделювання є тільки одним з декількох наявних у розпорядженні системного аналітика найважливіших методів рішення проблем. Оскільки необхідно пристосовувати засіб або метод до рішення задачі, а не навпаки, то виникає природне питання: в яких випадках імітаційне моделювання є корисним? Ми визначили імітаційне моделювання як експериментування з моделлю реальної системи. Необхідність рішення задачі шляхом експериментування стає очевидною, коли виникає потреба одержати про систему специфічну інформацію, яку не можна знайти у відомих джерелах. Безпосереднє експериментування на реальній системі усуває багато труднощів, якщо необхідно забезпечити відповідність між моделлю і реальними умовами; однак недоліки такого експериментування іноді досить значні, оскільки:

воно може порушити встановлений порядок роботи об'єкта;

якщо складовою частиною системи є люди, то на результати експериментів може вплинути так званий хауторнський ефект, який виявляється в тім, що люди, почувавши, що за ними спостерігають, можуть змінити свою поведінку;

може виявитися складним підтримка постійних робочих умов при кожному повторенні експерименту або протягом усього часу проведення серії експериментів;

для одержання однієї і тієї ж величини вибірки (а, отже, і статистичної значимості результатів експериментування) можуть знадобитися надмірні витрати часу і засобів;

при експериментуванні з реальними системами може виявитися неможливим дослідження безлічі альтернативних варіантів.

З цих причин необхідно розглядати доцільність застосування імітаційного моделювання при наявності кожної з наступних умов:

1. Не існує закінченої математичної постановки даної задачі, або ще не розроблені аналітичні методи рішення сформульованої математичної моделі. До цієї категорії відносяться багато моделей масового обслуговування, зв'язані з розглядом черг.

2. За наявністю аналітичних методів, математичні процедури настільки складні і трудомісткі, що імітаційне моделювання надасть більш простий спосіб рішення задачі.

3. Аналітичні рішення існують, але їхня реалізація неможлива внаслідок недостатньої математичної підготовки наявного персоналу. У цьому випадку варто співставити витрати на проектування, іспити і роботу на імітаційній моделі з витратами, зв'язаними з запрошенням фахівців зі сторони.

4. Крім оцінки визначених параметрів, бажано здійснити на імітаційній моделі спостереження за ходом процесу протягом визначеного періоду. Імітаційне моделювання може виявитися єдиною можливістю внаслідок труднощів постановки експериментів і спостереження явищ у реальних умовах; відповідним прикладом може служити вивчення поведінки космічних кораблів в умовах міжпланетних польотів.

Для довгочасно діючих систем або процесів може знадобитися стиск часової шкали. Імітаційне моделювання дає можливість цілком контролювати час досліджуваного процесу, оскільки явище може бути уповільнене або прискорено за бажанням. Додатковою перевагою імітаційного моделювання можна вважати найширші можливості його застосування в сфері освіти і професійної підготовки. Розробка і використання імітаційної моделі дозволяють експериментаторові бачити і "грати" на моделі реальні процеси і ситуації. Це, у свою чергу, повинне значною мірою допомогти йому зрозуміти і відчувати проблему, що стимулює процес пошуку нововведень. Коли студент досягає справжнього розуміння проблеми і починає вільно керувати своєю моделлю, він знаходить здатність бачити зміст своєї роботи з інших точок зору. Він захоче перевірити на моделі безліч альтернативних варіантів, щоб оцінити нові можливості, що йому відкрилися. По суті він використовує модель для підвищення своїх навиків у програмуванні та навчанні, що дозволяє йому на новому рівні чітко установити всі істотні наслідки внесених у систему змін. Можливо, він міг би проробити це і на реальній системі, але, внаслідок її складності, це було б дуже утомливо і сполучене з помилками. Ось чому доцільно звертатись до моделі, як до засобу оцінки своїх нових інтуїтивних припущень і висновків. Ідея імітаційного моделювання інтуїтивно приваблива для дослідження систем завдяки своїй простоті. Тому метод імітаційного моделювання прагнуть застосовувати для рішення кожної задачі, з якою доводиться зустрічатися. Незважаючи на недостатню математичну добірність, імітаційне моделювання є одним з найбільш широко розповсюджених кількісних методів, які використовують при рішенні проблем.

Розроблені пакети прикладних програм [10-13] дуже зручні в використанні, вихідна інформація легко доповнюється, змінюється, коригується. Студенти можуть самостійно або в дистанційному режимі експериментувати та моделювати різні фізичні і технічні процеси.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Доведено, що імітаційне моделювання стимулює розвиток творчого і наукового мислення студентів, підвищує інтерес до програмування і вивчення фізики. У подальшому необхідно, і для цього є можливість, впроваджувати в навчальний процес нові комп'ютерні технології.

Список літератури

1. Завсєгдашній В. О., Максимов О.В., Ткаченко Г.І. Імітаційне моделювання: Навч. посібник. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2004 – 166 с.
2. Х.Гулл, Я.Тобочник. Компьютерное моделирование в физике. Изд «Мир»
3. <http://www.lib.convdocs.org/docs/index-80297/html>
4. Четет В. В. Генезис методов обучения и педагогических технологий / В. В. Четет // Народная освіта. – 2004. № 8. – С. 11–16.

5. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – Санкт - Петербург: Наука и техника, 2003. - 384 с.
6. Имитационное моделирование экономических процессов: Учеб. пособие / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума; Под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 368с.
7. Бочарников В.П., Свешников С.В. Fuzzy Technology: основы моделирования и решения экспертно – аналитических задач. – К.: Эльга, Ника-Центр, 2003. - 296с.
8. Кондратьев А.С., Филиппов М.Э. Физические задачи и математическое моделирование реальных процессов//Учебная физика, 1999, №2, с.647.
9. Кречетников К.Г. Методология проектирования, оценка качества и применения средств информационных технологий обучения. Моногр.- М.: Изд.Госкоорцентр, 2001, 244с. www.omsu. ru /conference/ tesleses/00005 I.doc
10. Ткаченко Г.І., Максимов О.В. Моделювання поверхонь скочвання для оцінки стану стійкості багатоярусних зовнішніх відвалів. Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. - Кривий Ріг: КТУ. - №8.-2005.- С.7-11.
11. Комп'ютерна програма для оцінки і розрахунку стійкості укосів бортів карерів і ярусів відвалів "KUSTO": Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МСП 03680 /Є.Я.Бехлер Є.Я., О.В.Максимов, Є.О.Несмашний, О.В.Романенко, Г.І.Ткаченко. - № 18720; Зареєстр.22.11.06.
12. Комп'ютерна програма «Комплекс комп'ютерних програм «РЕПЕР»: Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Україна, МОНУ/Є.Я.Бехлер, А.В. Болотников, Є.О.Несмашний, О.В.Максимов, Г.І.Ткаченко. – № 39943; Зареєстр. 02.09.11.
13. Бережний М.М. Розвиток теорії і методів моделювання процесів обробки металів тиском / М.М. Бережний, А.О. Шепель, О.А. Самойлюк //Вісник Криворізького національного університету: Збірник наукових праць. Кр. Ріг, 2012. – Вип. 30. – С. 131-135

Рукопис подано до редакції 05.04.2019

УДК 667.1.785

Ю.С. РУДЬ, д-р техн. наук, проф., В.Г. КУЧЕР, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,
В.Ю. БЕЛОНОЖКО, ст. преп.
Криворожский национальный университет

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ КОЛОСНИКОВЫХ РЕШЕТОК АГЛОМЕРАЦИОННЫХ И ОБЖИГОВЫХ МАШИН

Агломерационная и обжиговая машина представляет собой непрерывную цепь тележек с колосниковой решеткой. Тележки установлены на направляющие и перемещаются по ним с помощью электромеханического привода, расположенного в головной части машины. На рабочей ветви машины происходят основные технологические процессы производства агломерата и окатышей: загрузка шихты, ее зажигание, спекание, частичное охлаждение и разгрузка агломерата, а для окатышей – загрузка, обжиг по более сложной схеме, охлаждение и разгрузка. На горизонтальные полки продольных балок тележек устанавливаются колосники, которые образуют колосниковое поле тележек - решетку.

Целью данной работы является анализ конструктивных особенностей известных колосниковых решеток агломерационных и обжиговых машин и на основе выводов обеспечить повышение технического уровня колосниковых решеток, что приведет к росту производительности машин.

Методы исследований. Анализ конструктивных особенностей колосниковых решеток агломерационных и обжиговых машин проводился путем изучения известных конструкций по литературным источникам, патентов, а также наблюдений за работой тележек в промышленных условиях с последующим обобщением результатов анализа и разработкой мероприятий по улучшению конструкции тележек агломерационных и обжиговых машин.

Научная новизна. Для повышения производительности агломерационных машин предложен и теоретически обоснован новый подход к формированию «постели», представляющий собой выделение фракции 25-12 мм из окомкованной шихты, а также увеличение «живого» сечения колосниковой решетки за счет использования площади подколосниковых балок.

Практическое значение. Предложены конструкции колосников, эффективность самоочистки которых базируется на новом подходе к решению данной проблемы и состоящей в организации принудительного взаимного перемещения рядом расположенных колосников. устанавливаются головками с большей высотой в противоположных направлениях.

Результаты. Предложен способ формирования «постели» агломерационных машин из окомкованной шихты крупностью +10-12 мм, а также ряд конструкций колосников, обеспечивающих увеличение «живого» сечения решетки и стабильность ее работы за счет высокой степени ее самоочистки, что позволяет повысить эффективность работы агломерационных и обжиговых машин.

Ключевые слова: агломерационная, обжиговая машина, тележка, колосник, решетка, «живое» сечение, самоочистка решетки, производительность.