

5. Kryzhanovskij, V.K., Kerber, M.L., Burlov, V.V. and Panimatchenko, A.D. (2004), *Proizvodstvo izdelij iz polimernykh materialov* [Manufacture of products from polymeric materials] Professija, Sankt-Peterburg, Russia.
6. Gul', V.E. (1976), *Polimernye plenochnye materialy* [Polymeric film materials], Himija, Moscow, Russia.
7. Golub, O.V. and Vasil'eva, S.B. (2005), *Upakovka i hranenie pishhevykh produktov* [Packaging and storage of food products], KTIIP, Kemerovo, Russia.
8. Samojlov, V. Ja., Ostapchuk, V.V. and Taranenko, I.M. (2012), *Tehnologija i oborudovanie upakovocnykh materialov* [Technology and equipment for packaging materials], HAI, Har'kov, Ukraine.
9. Efremov, N.F. and Kolesnichenko, M.G. (2011), *Tehnologija upakovochnogo proizvodstva: uchebnoe posobie* [Technology of the packaging production], MGUP, Moscow, Russia.
10. Kolosov, O.Ye. (2015), *Tekhnologija pakuval'noho vyrobnytstva* [Technology of the packaging production], Politekhnika, Kyiv, Ukraine.
11. Kolosov, O.Ye. (2015), *Tekhnologija zberihannia kharchovoi produktsii: neupakovanoi ta upakovanoi iz zastosuvanniam polimernykh plivkovykh materialiv* [Storage Technology of food products: not packaged and packed with polymer film materials], Politekhnika, Kyiv, Ukraine.

УДК 514.18: 678.5.059: 535.024:620.168:678.02:678.5.059

КОЛОСОВА О. П., ас.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ РЕАКТОПЛАСТИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙНО-ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Досліджено перспективність застосування геометричного моделювання технічних засобів для одержання реактопластичних композиційно-волокнистих матеріалів. Проаналізовано базові принципи методології структурно-параметричного геометричного моделювання. Здійснено вибір і обґрунтовано перспективні напрями досліджень. Зазначено, що можливими напрямками досліджень є створення нових або удосконалення існуючих геометричних моделей базових процесів технологічного циклу формування композиційно-волокнистих матеріалів, розвиток методів комп'ютерного моделювання цих процесів та більш широке розповсюдження розроблених методик для моделювання технічних і технологічних засобів формування композиційно-волокнистих матеріалів на базі системного підходу. Це також передбачає розроблення конкретних комп'ютерних моделей ультразвукових трансформаторів швидкості, здійснення їх всебічного аналізу та впровадження отриманих результатів у виробництво.

Перспективи подальших досліджень полягають у збільшенні номенклатури ультразвукових концентраторів, які можна автоматизовано конструювати за допомогою розроблених методик структурно-параметричного геометричного моделювання та розширенні класу кривих, використовуваних для цього, наприклад, за рахунок неоднорідних раціональних параметричних сплайнів вищих порядків.

Ключові слова: параметр, конструкція, технологія, полімер, композит, волокно, реактопласт, геометрія, моделювання.

© Колосова О. П., 2016.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку хімічної, машинобудівної, будівельної, інших галузей промисловості характеризується існуванням величезної кількості реактопластичних композиційно-волокнистих матеріалів (КВМ), сформованих на основі армуючих орієнтованих волокнистих наповнювачів (ОВН) і рідких полімерних зв'язуючих (ПЗ), зокрема епоксидних (ЕЗ) [1]. Тому вибір та обґрунтування режимних параметрів формування КВМ, а також конструктивно-технологічних параметрів формувального обладнання, мають важливе значення. При цьому суттєвою є інтенсифікація технологічних процесів формування КВМ, наприклад, за допомогою низькочастотного ультразвуку (УЗ).

Для обґрунтованого вибору оптимальних технологічних параметрів базових процесів і конструктивних елементів обладнання, призначеного для виготовлення виробів із реактопластичних КВМ, доцільним є використання різних методів моделювання (геометричного і комп'ютерного, а також експериментально-статистичного). При цьому застосування підходу, що передбачає геометричне параметричне моделювання конструктивних елементів обладнання й технологічних параметрів формування КВМ, і використання мате-

матичних методів планування експерименту для оптимізації режимних параметрів, дозволяє істотно скоротити кількість необхідних експериментів, а також зменшити затрати на їхнє проведення. Водночас, знайдені оптимальні конструктивні параметри УЗ-обладнання та інструментів, а також технологічні параметри УЗ-оброблення (частота, амплітуда, інтенсивність, тривалість), можуть використовуватись для детермінації конструктивно-технологічних параметрів хвилеводів-концентраторів, просочувального й дозувального обладнання на базі п'єзоелектричних перетворювачів (ПЕП) тощо [1].

Метою статті є визначення можливих напрямів застосування геометричного моделювання технічних засобів, призначених для одержання реактопластичних композиційно-волокнистих матеріалів із використанням ультразвукової дії.

Особливості проектування технології та устаткування для одержання реактопластичних КВМ. Складність вирішення задачі проектування технології і устаткування для виробництва реактопластичних КВМ обумовлена необхідністю дослідження комплексу питань, спрямованих на виявлення й вивчення взаємозв'язків між структурно-механічними і геометричними параметрами одержуваних виробів із КВМ, з одного боку, й технологічними факторами їхнього виробництва, з іншого.

При цьому, попри широке використання досягнень і методів фізики, теоретичної механіки та опору матеріалів, чітко вимальовується головний предмет теорії, властивий лише технології одержання виробів із реактопластичних КВМ [1, 2].

Предметом дослідження технології одержання виробів із КВМ є (математичні) закономірності, що встановлюють не тільки взаємозв'язки, але й взаємовплив технологічних чинників, що обумовлюють за тих чи інших наперед заданих (або розрахункових) виробничих умов отримання необхідних експлуатаційних характеристик виробів у межах розрахункових відхилень.

Наявність зазначеного вище предмета досліджень, причинна обумовленість взаємозв'язків різнохарактерних процесів та операцій, спрямованих на одержання виробів заданої якості з мінімальними затратами праці (за даних умов і часу), математична теорія, що відображає внутрішні технологічні закономірності, свідчать, що аналізовані питання утворюють єдиний комплекс теоретичного базису моделювання (проектування) технології виготовлення виробів із реактопластичних КВМ.

Слід відзначити особливість об'єкта дослідження, яка полягає в тому, що виробництво виробів із КВМ складається з різнохарактерних технологічних процесів, кожен з яких потребує проектування, оснащення та підготовки фахівців певної кваліфікації. Ці процеси проектуються під конкретне обладнання та реалізуються за певних виробничих умов відповідно до теорій, розроблених для кожного з них.

Наприклад, процеси «вільного» просочення ОВН (склоарматури) ґрунтуються на власній теоретичній базі капілярного просочення з використанням геометричних (структурних) моделей наповнювачів і проектуються під конкретні просочувально-сушильні машини. Формування виробів (намотування та ін.) базується на законах механіки нитки. Інші закономірності (фізичні, хімічні і технологічні) покладено в основу одержання рідкого полімерного зв'язуючого для просочення, дозованого нанесення, затвердіння, механічного оброблення тощо.

Попри таке різноманіття, ці процеси взаємно обумовлені та утворюють єдиний виробничий цикл виготовлення конкретного виробу. Усі вони мають загальну особливість – перетворення вихідних матеріалів у готові продукти (заданої якості та експлуатаційних властивостей) з найменшими затратами уречевленої і живої (розумової й фізичної) праці за даних умов.

Тому галузевим конструкторам і технологам потрібні наукові знання, відповідний математичний апарат і програмні продукти, що дозволяють проектувати (моделювати) процеси та обладнання (інструмент) для формування виробів із реактопластичних КВМ, які б із мінімальними затратами забезпечували задані фізико-механічні властивості продукції, точність і чистоту, а також задані геометрію та взаємне розташування утворених поверхонь [1].

Загальновідомо, що проектування технологічного процесу передбачає теоретичне вирішення поставлених технічних завдань, оформлених відповідним чином. Структура технологічного процесу визначається поставленими завданнями. Його не проектують взагалі, а розробляють для вирішення конкретних задач виготовлення виробів високої якості з наперед заданими характеристиками за максимальної економічної ефективності виробництва [1, 2].

Перед створенням технологічного циклу (процесу) та обладнання (інструменти) для формування виробів із КВМ у проектувальника, зазвичай, є такі вихідні дані: робоче креслення виробу (деталі); технічні вимоги на КВМ і його розгорнута характеристика; технічні вимоги на вихідні матеріали; технічні вимоги на готовий виріб і методи його випробування; відомості про технологічні методи переробки КВМ; дані про

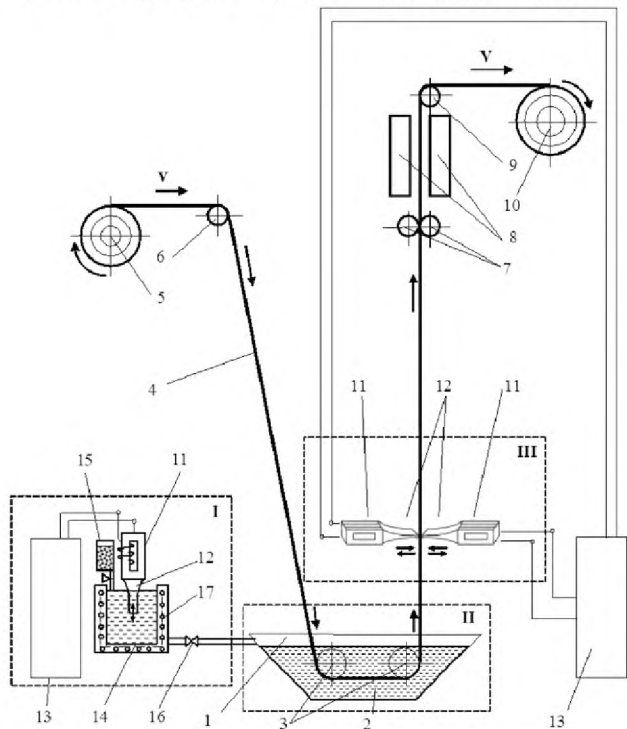
обладнання та технологічну оснастку; дані про використовувані типові технологічні процеси; виробничі завдання й характер виробництва; наявність обладнання та його стан, виробничі можливості тощо [1].

Щоб мінімізувати затрати, використовують ефективні методи прогнозування (моделювання) конструкційно-технологічних параметрів з урахуванням специфіки модельованих об'єктів, зокрема, шляхом адаптування методології СПГМ до вирішення конкретних завдань [3].

Типовий технологічний цикл одержання виробів із реактопластичних КВМ. Оптимізація ефективних режимних параметрів виробництва КВМ базується на аналізі типового циклу їхнього формування, що складається з таких стадій (базових технологічних процесів): приготування полімерної (епоксидної) композиції (ЕК) зі складових компонентів та її модифікування наповнювачами, твердниками, розбавлювачами, пластифікаторами тощо (приготування вихідної ЕК); підготовка армуючого ОВН; поєднання ЕК з армуючим ОВН і забезпечення певного співвідношення ЕК у структурі просоченого ОВН за допомогою формуювального і формувального оснащення та устаткування (просочування і дозоване нанесення); сушіння просоченого армуючого ОВН; збирання заготовки; фіксація матеріалу або виробу з КВМ заданої форми і розмірів із подальшим твердінням зв'язуючого; механічне оброблення виробу (збирання, твердіння й формування) [1, 2].

Варто відзначити високу ефективність застосування УЗ у формуванні реактопластичних КВМ, зокрема під час приготування рідкого ПЗ, просочення й дозованого нанесення ПЗ на просочений ВН. Це обумовлює необхідність оптимізації конструкційно-технологічних параметрів відповідного обладнання.

На рис. 1 наведено загальну схему виробництва реактопластичних КВМ із використанням комплексного низькочастотного УЗ-оброблення [4], а на рис. 2 – складові елементи однохвильового УЗ-диспергатора [5] на базі складеного ПЕП, що використовується для УЗ-оброблення.



І – блок приготування просочувального ПЗ; ІІ – блок просочування ОВН рідким ПЗ; ІІІ – блок дозованого нанесення ПЗ на ОВН; 1 – просочувальна ванна; 2 – рідке ПЗ; 3, 6, 9 – валки; 4 – довговимірний ВН; 5 – бобіна з сухим ОВН; 7 – відтискні валки; 8 – сушильно-полімеризаційна камера; 10 – бобіна; 11 – УЗ-інструменти; 12 – концентратор УЗ; 13 – УЗ-генератор; 14 – збірник ЕЗ; 15 – збірник твердника ЕЗ; 16 – кран; 17 – терморегулятор

Рис. 1 – Схема приготування рідкого ПЗ, просочення і дозованого нанесення рідкого ПЗ на довговимірний ОВН із використанням комбінованого УЗ-оброблення [4]



Рис. 2 – Складові елементи типового однохвильового УЗ-диспергатора, виконаного з симетричним пакетним ПЕП [5]

Залежно від обраної геометрії, а також розмірів УЗ-концентратора 12 на виході (на торці) отримують певне значення амплітуди A та інтенсивності I УЗ-коливань, що вводяться в рідку ЕК. Контрольованими параметрами під час приготування ЕК є час τ , температура T , амплітуда A , інтенсивність I . Після УЗ-оброблення ЕК у збірнику 14 зі збірника 15 надходить твердник ЕС, відбувається змішування ЕК з її твердником за допомогою УЗ-концентратора 12 протягом декількох секунд, після чого одержують вихідну просочувальну композицію (або ЕЗ). Далі відкривають кран 16 і просочувальну композицію подають у ванну 1. Після цього відбувається змотування з бобіни 5 сухого довговимірного ВН 4, який після проходження валка 6 надходить у ванну 1, де він просочується рідким ПЗ 2, уже обробленим за допомогою УЗ (блок II на рис. 1). При цьому можливими є декілька структурних форм розташування волокон у перерізі просоченого ОВН, що відповідним чином впливає на кінетику «вільного» просочення ОВН рідким ПЗ.

Після виходу з ванни 1 забезпечують попереднє нанесення ПЗ 2 на довговимірний ОВН 4. Цей матеріал у зоні дозування (блок III на рис. 1) обробляють з обох боків УЗ-інструментами 11 з індивідуальними приводами від УЗ-генератора 13. Інструменти 11 можуть бути розташовані зі зміщенням за довжиною оброблюваного матеріалу 4. Варіювання вмісту ПЗ, рівномірність його розподілу в матеріалі і видалення надлишку зв'язуючого здійснюють, змінюючи потужність інструментів 11 і зусилля їхнього притискання до оброблюваного матеріалу. Остаточне відтискання зв'язуючого здійснюють на валках 7. Потім матеріал надходить у сушильно-полімеризаційну камеру 8, а після сушіння намотується на бобіну 10.

У разі використання ВН тканого типу використовують УЗ-дозатори у вигляді прямокутних пластин, до основи якої кріплять у регулярному порядку хвилеводи-концентратори з живленням від УЗ-генераторів [4].

Базові принципи методології структурно-параметричного геометричного моделювання. Проектування процесів формування реактопластичних КВМ є складною задачею, оскільки відсутні теоретичні уявлення, математичні залежності й відповідні методи, що дозволяють прогнозувати їхні режимні параметри з достатньою точністю [2, 6]. Тому доцільним є створення обґрунтованої системи уявлень про досліджувані процеси із застосуванням методології структурно-параметричного геометричного моделювання (СПГМ), що дозволяє за невеликих затрат часу отримувати залежності, що описують взаємозв'язки між параметрами і характеристиками проєктованих об'єктів, зокрема деталей та інструментів, а також технологічних процесів їхнього виготовлення [7–12].

Під *структурно-параметричною геометричною моделлю* (СПГМ) розуміють математичний опис досліджуваного геометричного об'єкта або процесу формування з використанням параметричного підходу для визначення його складових елементів (точок, кривих, поверхонь, об'ємних тіл тощо) та варіантних структурних зв'язків поміж ними із забезпеченням можливості виокремлення необхідних фігур і комплексного ефективного (оптимального) керування формування виробу (елементами технології), чи параметрами технологічного процесу (операції). Під *структурно-параметричним геометричним моделюванням* розуміють сукупність використовуваних прийомів побудови, дослідження та використання об'єктів і процесів, що відтворені за допомогою методології СПГМ.

Виділяють такі принципи математичної реалізації структурно-параметричної методології [3, 7–11]:

- *системного підходу*, що передбачає аналіз досліджуваного об'єкта одночасно і як множини пов'язаних між собою елементів, і як потенційного компонента геометричної фігури вищого ієрархічного рівня;
- *комплексного підходу*, який полягає у пристосуванні геометричної моделі до узгодженого врахування потреб інших математичних описів досліджуваного об'єкта;
- *варіантності*, що полягає у можливості забезпечення геометричною моделлю гнучкого, ефективного, прогнозованого та зручного для користувача створення параметричних і структурних різновидів досліджуваного об'єкта;
- *оптимальності*, який обумовлює наявність у розроблюваній моделі засобів для визначення раціональних прогнозованих параметрів і характеристик відтвореного предмета чи явища;
- *відкритості та розвитку*, що передбачає можливість оновлення й розширення складових СПГМ.

Під час безпосереднього формування наведений вище перелік може доповнюватися докладними умовами згідно з конкретними вимогами щодо досліджуваного об'єкта.

Адаптація базових принципів СПГМ до конкретних задач передбачає [3, 7–11]:

- аналіз досліджуваного об'єкта та розчленування його на окремі елементи;
- визначення зв'язків між виокремленими елементами, тобто розроблення структури об'єкта;
- опрацювання порядку синтезу об'єкта, формування інтегральних характеристик і параметрів для забезпечення зручного та ефективного залучення об'єкта до складу систем вищої ієрархії;
- розроблення нових чи застосування існуючих математичних моделей для наявних елементів і зв'язків між ними;

– реалізація оптимального, відповідно до заданих умов, формування досліджуваного об'єкта.

Виходячи із зазначеного вище, доцільним є виокремлення в схемі приготування рідкого ПЗ, просочення і дозованого нанесення рідкого ПЗ на довговимірний ОВН із використанням комбінованого УЗ-оброблення (див. рис. 1) укрупнених блоків I–III, що є визначальними для одержання якісних виробів із КВМ [1].

Напрацювання науковців з геометричного моделювання технічних засобів для одержання КВМ. Науковою школою В. Ваніна і Г. Вірченка розроблено сучасну методологію структурно-параметричного варіантного формування складних технічних систем у машинобудуванні [13]. Науковці цієї школи здійснюють, зокрема, геометричне моделювання процесів та обладнання для виготовлення високоміцних реактопластичних КВМ [14-16].

Інші вітчизняні науковці вивчали моделювання структурних армуючих елементів КВМ на прикладі намотування нитки на поверхні обертання [17]. Розроблено комплексну модель розрахунку форми меридіану фасонних поверхонь обертання, в яких середня кривизна змінюється вздовж осі за наперед заданим законом, та за умови зміцнення цих поверхонь шляхом геодезичного намотування нитки. У праці [18] проаналізовано базові схеми армування плоскою полімерною стрічкою виробів у вигляді поверхонь обертання.

Зарубіжні вчені описували поверхні оправок за методом Кунса, створюючи на його основі тривимірні об'єкти [19]. Інший клас модельованих об'єктів створювався за допомогою плоских паралельних перерізів на точковому каркасі. Серед найбільш вагомих результатів можна відзначити праці [20, 21]. Розроблено новий математичний апарат для моделювання намотування і викладення конструкцій із КВМ. Закладено теоретичні основи цих процесів, розроблено комп'ютерні моделі для якісного аналізу схем укладання стрічки на поверхню.

Таким чином, актуальним є створення геометричних та комп'ютерних моделей, що забезпечують автоматизоване проектування процесів та обладнання для приготування рідких полімерних композицій і виготовлення високоміцних й бездефектних виробів із реактопластичних КВМ із використанням УЗ-дії. У такій постановці цю задачу ще не досліджено.

Проблемні питання геометричного моделювання технічних засобів. Під час вирішення завдань геометричного моделювання процесів та обладнання для виготовлення високоміцних й бездефектних реактопластичних КВМ із використанням УЗ-дії варто враховувати такі особливості, притаманні цим об'єктам досліджень.

По-перше, завдання з геометричного моделювання зазначених об'єктів, є більш складними порівняно з моделюванням топографічних поверхонь, що є стаціонарними в часі і для яких є наперед відомим закон зміни руху армуючих елементів (ниток, джгутів, стрічок сталого перерізу).

По-друге, для автоматизації «мокрого» намотування (геодезичне намотування нитки) необхідно «перевести» отримувані поверхні в геометричні моделі за допомогою відповідних алгоритмів. За цією аналогією, для базового процесу «вільного» просочування слід створити узагальнену геометричну модель, що надасть можливість для аналізу і коригування схеми армування ОВН і геометричних параметрів змотувального й просочувального обладнання.

По-третє, властивості КВМ на основі ОВН жгутового чи тканого типу залежать від розташування мікронаповнювачів у структурі КВМ. Мікроструктуру таких ОВН моделюють спеціальними методами (наприклад, геометричних ймовірностей та інтегральної геометрії), що вимагає спеціальних алгоритмів. Як типово завдання можна навести таке: дослідити залежність якості тканого КВМ від початкових (технологічних) умов, або від того, що задано проектувальниками на вході (наприклад, відсоток тканого наповнювача в структурі КВМ). Адже після змінення початкових умов слід змінити й геометричні параметри формувального обладнання для виробництва таких КВМ.

По-четверте, завдання з геометричного моделювання зазначених об'єктів можна вирішити із застосуванням методології комп'ютерного СПГМ, яка лише починає розвиватися.

Вибір та обґрунтування перспективних напрямів досліджень. Методологія СПГМ дозволяє на стадії конструкторсько-технологічного проектування створити єдиний і наскрізний автоматизований процес розробки технології й технологічного інструменту із залученням різних дисциплін. При цьому поєднання структурного і параметричного підходів забезпечує наочне відтворення складу модельованого об'єкта, високо-ефективне комп'ютерне варіювання багатьох його параметрів і характеристик, а також можливість проведення комплексної оптимізації. Аналіз «вузьких» місць застосування принципів автоматизованого проектування на базі методології СПГМ для детермінування конструкторсько-технологічних параметрів технічних засобів, зокрема, базових процесів і обладнання (інструменту), призначених для виготовлення реактопластичних КВМ із застосуванням УЗ, дозволяє зробити такі висновки.

Майже не досліджені питання, пов'язані з науковим обґрунтуванням методології СПГМ для проектування конструкторсько-технологічних параметрів технічних засобів у вигляді базових процесів та обладнання (інструменту), призначених для виготовлення реактопластичних КВМ із застосуванням УЗ.

Одним із прогресивних напрямів реалізації методології є раціональне конструювання акустичних хвилеводів-концентраторів. Важливою є також інтегроване врахування вимог інженерних дисциплін для комплексної оптимізації промислової продукції.

Із досліджуваною проблематикою пов'язано проектування процесу та обладнання для «вільного» просочування. Важливим є одержання прогностичних кінетичних рівнянь просочування ОВН рідкими ЕЗ із врахуванням структурних характеристик ОВН як капілярно-пористого тіла. Таке прогнозування доцільно вести на базі певної схеми розташування волокон в структурі ОВН, що асоціюється з відповідною геометричною (фізичною) моделлю [2]. Подальші кроки передбачають можливість зведення досліджуваних структур до регулярних (подвійноперіодичних) модельних із застосуванням теорії інтегральної геометрії й геометричних ймовірностей. Результатом моделювання є визначення ефективного (еквівалентного) капілярного радіуса модельної структури ОВН для обчислення кінетичних параметрів «вільного» просочення [12].

УЗ-вплив на ОВН, що просочується у ванні, а також на просочений ОВН можна розглядати як ефективний засіб для підтримання необхідного вмісту рідкого ПЗ у просоченому ОВН (дозування). Таке дозування для ВН на основі тканих структур доцільно здійснювати з прямокутної пластини, до якої прикріплені ПЕП, що утворюють складений дозувальний пристрій. При цьому слід вирішити задачі раціонального вибору, зокрема, товщини випромінювальної пластини, розмірів і місць розташування ПЕП тощо.

Таким чином, зазначений напрям досліджень передбачає вирішення таких задач:

– розроблення узагальненої структурно-параметричної моделі технологічного циклу (або окремих процесів чи операцій) одержання реактопластичних КВМ із застосуванням УЗ-оброблення;

– розроблення методики варіантного конструювання акустичних концентраторів із використанням комп'ютерних геометричних моделей, що відображують варіаційні взаємозв'язки між параметрами форми і розмірів досліджуваних виробів, а також наведення прийомів формоутворення, що сприяють підвищенню продуктивності комп'ютерного варіантного проектування зазначених виробів;

– детермінація параметрів адекватної геометричної моделі упаковки волокон у структурі ОВН із застосуванням теорії інтегральної геометрії та геометричних ймовірностей шляхом зведення реальних стохастичних структур ОВН до подвійноперіодичних регулярних, та визначення структурних характеристик геометричної моделі, що входять до уточненого прогностичного кінетичного рівняння «вільного» просочення ОВН рідкими ПЗ;

– розроблення удосконаленої аналітичної методики розрахунку та методики варіантного структурно-параметричного конструювання складеного УЗ-кавітаційного пристрою з прямокутною випромінювальною пластиною, що здійснює вигинні коливання, для дозованого нанесення ПЗ на просочений ВН тканого типу, що передбачає розрахунок резонансних акустичних розмірів елементів коливальної системи на базі ПЕП і трансформаторів швидкості, а також здійснення геометричної візуалізації отриманих співвідношень;

– упровадження розробок, зокрема, в хімічному та спеціальному машинобудуванні.



Рис. 3 – Послідовність досліджень з конструкторсько-технологічного проектування технічних засобів для одержання реактопластичних КВМ

нклауру УЗ-концентраторів, які можна буде конструювати з використанням методології СПГМ.

Послідовність досліджень з конструкторсько-технологічного проектування технічних засобів для одержання реактопластичних КВМ з використанням УЗ-дії наведено на рис. 3.

У подальшому доцільним є створення нових та удосконалення існуючих геометричних моделей базових процесів технологічного циклу формування КВМ, розвиток методів комп'ютерного моделювання цих процесів і поширення розроблених методик. Цей напрям, зокрема, передбачає розроблення і всебічний аналіз комп'ютерних моделей трансформаторів швидкості з впровадженням результатів у виробництво, що збільшить номі-

Висновки. Досліджено перспективність застосування геометричного моделювання технічних засобів для одержання реактопластичних КВМ. Проаналізовано базові принципи методології структурно-параметричного геометричного моделювання. Здійснено вибір та обґрунтування перспективних напрямів досліджень. Зазначено, що подальшими напрямками досліджень є створення нових та вдосконалення існуючих геометричних моделей базових процесів технологічного циклу формування КВМ, розвиток методів їхнього комп'ютерного моделювання й поширення методик моделювання технічних і технологічних засобів формування КВМ на базі системного підходу.

Список використаної літератури

1. *Цыплаков О. Г.* Научные основы технологии композиционно-волоконистых материалов / О. Г. Цыплаков. – Пермь, 1974. – Ч. 1. – 317 с.
2. *Колосов О. Є.* Одержання волокнистонаповнених реактопластичних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвуку / О. Є. Колосов, В. І. Сівецький, О. П. Колосова. – К. : Політехніка, 2015. – 295 с.
3. *Ванін В. В.* Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання / В. В. Ванін, Г. А. Вірченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 23. – Харків : ХДУХТ, 2009. – С. 42-48.
4. *Колосов А. Е.* Конструкторско-технологическое проектирование технических средств для получения реактопластичных композиционно-волоконистых материалов на базе структурно-параметрического моделирования / А. Е. Колосов, Г. А. Вирченко, Е. П. Колосова, Г. И. Вирченко // Хим. и нефтегазовое машиностр. – 2015. – № 7. – С. 41-46.
5. http://storage.flyback.org.ru/files/01_ae_ae_249.jpg.
6. *Новицкий Б. Г.* Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах / Б. Г. Новицкий. – М. : Химия, 1983. – 192 с.
7. *Ванін В. В.* Продукція машинобудування та процеси її виготовлення як об'єкти структурно-параметричного геометричного моделювання / В. В. Ванін, Г. А. Вірченко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 84. – К. : КНУБА, 2010. – С. 28-32.
8. *Ванін В. В.* Применение комбинаторно-вариационного подхода для компьютерного геометрического моделирования инженерных конструкций и сооружений / В. В. Ванін, С. Л. Шамбина, В. Г. Вирченко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2013. – № 4. – С. 3-8.
9. *Вирченко В. Г.* Модульное вариантное геометрическое моделирование сложных технических объектов / С. Л. Шамбина, В. Г. Вирченко // Вестн. Росс. ун-та дружбы народов. Инж. иссл. – 2013. – № 2. – С. 5-8.
10. *Virchenko V. G.* Computer combinatorial-variation geometric modeling of engineering objects / V. G. Virchenko, I. P. Taras // The Scientific Bulletin of the "Politehnica" University of Timisoara, Transactions on Hydrotechnics. – 2013. – Том 58(72), Fascicola suplimentara. – P. 173-176.
11. *Ванін В. В.* Структурно-параметричні моделі як засіб інтеграції автоматизованого проектування сучасного літака / В. В. Ванін, Г. А. Вірченко // Вісн. Херсон. нац. техн. ун-ту. – 2014. – Вип. 3 (50). – С. 571-574.
12. *Аксельруд Г. А.* Введение в капиллярно-химическую технологию / Г. А. Аксельруд, М. А. Альтшулер. – М. : Химия, 1983. – 264 с.
13. Кафедра нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ng-kg.kpi.ua>.
14. *Залевський С. В.* Геометричне моделювання тканинних наповнювачів текстолітових конструкцій технічних виробів : автореф. дис ... канд. техн. наук : 05.01.01 / С.В. Залевський. – К.: 2011. – 23 с.
15. *Ванін В. В.* Дослідження форми поверхні полімерної стрічки при виробництві композитних деталей / В. В. Ванін, Г. П. Грязнова // Сучасні проблеми моделювання. – 2014. – № 3. – С. 34-38.
16. Структурно-параметричний метод для моделювання технологічного процесу створення виробів з композитів [Електронний ресурс] / В. В. Ванін, Г. П. Грязнова, А. Г. Допира, С. Л. Шамбина // SWorld. – 16-26 December, 2014. – Режим доступу : <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-414/applied-geometry-engineering-graphics-ergonomics-and-safety-of-life-414/23604-414-053>.
17. *Руденко С. Ю.* Геометричне моделювання фасонних поверхонь обертання, зміцнених намотуванням нитки : автореф. дис ... канд. техн. наук : 05.01.01 / С. Ю. Руденко; Нац. ун-т цив. зах. ДСУНС. – Х., 2013. – 24 с.
18. *Куценко Л. М.* Поверхні обертання зі змінної уздовж осі кривою меридіанів та їх зміцнення шляхом намотування кевларової нитки / Л. М. Куценко, С. Ю. Руденко // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво : міжвузівський зб. – Вип. 6. – Луцьк : ЛНТУ, 2011. – С. 148-153.
19. *Аюшев Т. В.* Геометрические вопросы адаптивной технологии изготовления конструкций намоткой из волоконистых композиционных материалов / Т. В. Аюшев. – Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2005. – 212 с.

20. Калинин В. А. Теоретические основы геометрического моделирования процессов намотки и выкладки конструкций из волокнистых композиционных материалов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.01 / В. А. Калинин ; Моск. гос. авиац. ин-т. – М., 1997. – 49 с.
21. Битюков Ю. И. Геометрическое моделирование технологических процессов намотки и выкладки конструкций из волокнистых композиционных материалов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.01 / Ю. И. Битюков ; Моск. гос. авиац. ин-т. – М., 2010. – 34 с.
22. Черніков О. В. Геометричне та комп'ютерне моделювання динаміки процесів зміни об'єктів під впливом заданих чинників (на прикладі фільтрування) : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.01 / О. В. Черніков ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. – К., 2008. – 36 с.

Надійшла до редакції 13.11.2015

Kolosova E. P.

APPLICATION OF GEOMETRIC MODELING OF TECHNICAL MEANS FOR PRODUCING REACTOPLASTIC COMPOSITIONAL AND FIBROUS MATERIALS

The prospects of the use of geometric modeling of technical means designed for obtaining of reactoplastic composite-fiber materials are studied. It is noted that the main vector of research is the application of structural and parametric geometric modeling to optimize the design and technological parameters of technical equipment used for manufacturing of reactoplastic composite-fiber materials using ultrasonic, in particular, the basic process of "free" impregnation, as well as ultrasonic equipment (instrument), which is used for the preparation process of epoxy compositions and dosing application process. It is indicated that the applied methodology of structural and parametric geometric modeling allows to create a single automated process of the development of technology and technological tools with the involvement of range of different disciplines.

The basic principles of the methodology of structural-parametric geometric modeling are analyzed. This combination of applied structural and parametric approach provides a visual play of structure of a modeled object, a high-performance computer variation of many of its parameters and characteristics, as well as the opportunity to conduct a comprehensive optimization. Selection is done and promising areas of research are proved.

These are the creation of new or improving existing geometric models of basic processes of technological cycle of composite-fiber materials formation, the development of methods of computer modeling of these processes and the wider application of the proposed methods for modeling technical and technological means of molding composite-fiber materials on the basis of a systematic approach. Prospects for future research are to increase the range of ultrasonic concentrators, which can be automatically constructed with the help of accumulated techniques of structural and parametric geometric modeling and expanding the class of curves used for this, for example, due to non-uniform rational parametric splines of higher order.

Keywords: parameter, design, technology, polymer, composite, fiber, reactoplast, geometry, modeling.

References

1. Tsyplakov, O. (1974), *Nauchnye osnovy tekhnologyy kompozitsionno-voloknistykh materialov*, Ch. 1 [Scientific bases of technology of compositional and fibrous materials], Perm publishing house, Perm, Russia.
2. Kolosov, O. Je. Syvetskii, V. I. and Kolosova, O. P. (2015), *Oderzhannja voloknystonapovnenykh reaktoplastychnykh polimernykh kompozitsijnykh materialiv iz zastosuvannjam ul'trazvuku* [Production of fibrous filled reactoplastic polymer composites with using ultrasonic], Politekhnik, Kyiv, Ukraine.
3. Vanin, V. V. and Virchenko, H. A. (2009). "Definition and main provisions of the structural-parametric geometric modeling", *Heometrychne ta komp'uterne modeliuvannia*, vypusk 23, pp. 42–48.
4. Kolosov, A. E., Virchenko, G. A., Kolosova, E. P. and Virchenko G. I. (2015), "Technological design of hardware for thermoset composite-fiber materials on the basis of structural and parametric modeling", *Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*, vol. 7, pp. 41–46.
5. http://storage.flyback.org.ru/files/01_ae_ae_249.jpg
6. Novickij, B. G. (1983), *Primenenie akusticheskikh kolebanij v himiko-tehnologicheskikh processah* [The using of acoustic vibrations in chemical-technological processes], Himija, Moscow, Russia.
7. Vanyin, V. V. and Vyrchenko, V. H. (2010), "Production engineering and manufacturing processes of its facilities as a structural-parametric geometric modeling", *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*, 84, pp. 28–32.
8. Vanyin, V. V. Shamybna, S. L. and Vyrchenko, V. H. (2013), "The use of combinatorial-variational approach for computer geometric modeling of engineering structures and buildings", *Stroytel'naia mekhanika ynzhenerykh konstruktsyj y sooruzhenyj*, vol. 4, pp. 3–8.

9. Shambina, S.L. and Kharchenko, V.G. (2013), "Variant modular geometric modeling of complex technical objects", *Bulletin of Russian Peoples' Friendship University. Engineering studies*, vol. 2, pp. 5–8.
10. Virchenko, V.G., Taras, I.P. (2013), "Computer combinatorial-variation geometric modeling of engineering objects", *The Scientific Bulletin of the "Politehnica" University of Timisoara, Transactions on Hydrotechnics*, vol. 58 (72), Fascicola suplimentara, pp. 173–176.
11. Vanin, V.V. and Virchenko H.A. (2014), "Structural-parametric models as a means of integration of computer-aided design of modern aircraft", *Visnyk Khersons'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu*, vol. 3 (50), pp. 571–574.
12. Aksel'rud, G.A. (1983), *Vvedenie v kapilljarno-himicheskiju tehnologiju* [Introduction to the capillary-chemical technology], Himija, Moscow, Russia.
13. <http://ng-kg.kpi.ua>.
14. Zalewskiy, S.V. (2011), "Geometric modeling of tissue fillers textolite for designs wares", *Ph.D. Thesis*, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine.
15. Vanin, V.V. and Hriaznova, H.P. (2014), "The study forms the surface of the polymer tape in the manufacture of composite parts", *Suchasni problemy modeliuвання*, vol. 3, pp. 34-38.
16. <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-414/applied-geometry-engineering-graphics-ergonomics-and-safety-of-life-414/23604-414-053>.
17. Rudenko, S.Yu. (2013), "Geometric modeling of shaped surfaces of revolution, reinforced of winding thread", *PhD Thesis*, National University Of Civil Protection Of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.
18. Kutsenko, L.M. and Rudenko, S.Yu. (2011), "Rotation Surfaces with variable along the axis of curvature of the meridians and their strengthening by winding Kevlar thread", *Komp'uterno-intehrovani tekhnologii: osvita, nauka, vyrobnytstvo*, vol. 6, pp. 148–153.
19. Ajushev, T.V. (2005), *Geometricheskie voprosy adaptivnoj tehnologii izgotovlenija konstrukcij namotkoj iz voloknistyh kompozicionnyh materialov* [Geometric aspects of adaptive technology of manufacturing structures wound from fiber composite materials], BNC SO RAN, Ulan-Udje, Russia.
20. Kalinin, V.A. (1997), "Theoretical Foundations of geometric modeling of winding processes and calculations of structures made of fiber composite materials", *Dr. of Sc. Thesis*, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia.
21. Bityukov Yu. I. (2010), "Geometric modeling of technological processes and calculations of winding structures of fiber composite materials": *Dr. of Sc. Thesis*, Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia.
22. Chernikov, A.V. (2008), "Geometric and computer modeling of the dynamics of change processes objects under the influence of a given factor (for example, filter)", *PhD Thesis*, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine.

УДК 66.011

КОРНІЄНКО Б. Я., д.т.н., доцент
Національний авіаційний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗНЕВОДНЕННЯ ТА ГРАНУЛЮВАННЯ У ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

Розглядаються підходи до математичного моделювання процесів зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі. Здійснена класифікація моделей за типами міжфазної взаємодії. Проаналізовано основні підходи до побудови математичних моделей зневоднення та гранулювання у псевдозрідженому шарі, основні припущення та особливості визначення технологічних параметрів, запропоновані різними авторами.

Ключові слова: псевдооживлений шар, обезвоживание, гранулирование, межфазное взаимодействие, математическое моделирование.

© Корнієнко Б. Я., 2016.

Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень. Гранулювання у псевдозрідженому шарі (особливо при отриманні багатокомпонентних мінеральних добрив) є складним фізико-хімічним процесом, інтенсивність перебігу якого залежить від багатьох факторів. До них слід віднести закономірності гідродинаміки псевдозрідженого шару, кінетику гранулоутворення, регулювання хімічного складу готового продукту, а також інтенсивність тепломасообмінних процесів.