

Результати імітаційного моделювання виводились у вигляді графіків процесів (рис. 6), пов'язаних з вертикальними коливаннями, а також у вигляді таблиць, в яких фіксувались максимальні переміщення та середні квадратичні пришвидшення підресорених мас автопотяга тощо. Імітаційним моделюванням підтверджено вплив маси та довжини пакета напівстовбурів на показники плавності ходу автопотяга (рис. 7).

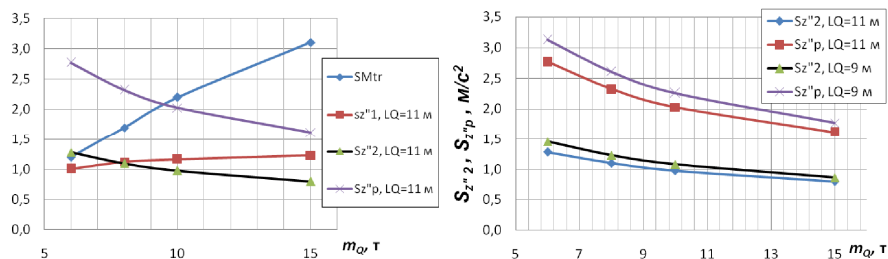


Рис. 7. Залежність показників плавності ходу автопотяга та динамічних навантажень у трансмісії від маси та довжини пакета напівстовбурів

**Висновки.** Отже, розрахункову динамічну модель, еквівалентну коливальній системі автопотяга, потрібно розглядати як систему дискретних мас автомобіля-тягача і розпуски та розподіленої маси пакета напівстовбурів. Положення центра ваги і момент інерції підресореної частини автомобіля-тягача у складі автопотяга залежить від розмірів та ваги пакета напівстовбурів і автомобіля. Результати імітаційного моделювання вертикальних коливань лісовозного автопотяга показали, що середні квадратичні значення пришвидшень вертикальних коливань підресорених мас (особливо над заднім візком) трьохосового автомобіля-тягача зменшуються зі збільшенням маси пакета напівстовбурів. Однак, збільшення навантаження спричиняє зростання динамічних навантажень у валах трансмісії. Тому запропоновану розрахункову схему і математичну модель автопотяга можна використовувати під час розв'язування багатокритеріальних задач з метою обґрунтованого вибору параметрів їх підвісок.

### Література

1. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля: колебания и плавность хода / Р.В. Ротенберг. – М.: Вид-во "Машиностроение", 1972. – 392 с.
2. Яценко Н.Н. Колебания, прочность и форсированные испытания грузовых автомобилей / Н.Н. Яценко. – М.: Вид-во "Машиностроение", 1972. – 372 с.
3. Библок Н.І. Лісотранспортні засоби: теорія / Н.І. Библок. – Львів: Вид. дім "Панорама", 2004. – 253 с.
4. Білик Б.В. Оцінка коефіцієнта розподілу підресорених мас лісовозного автомобіля / Б.В. Білик // Наукові праці Лісівничої академії наук України: зб. наук. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 10.
5. Шевченко Н.В. Обґрунтування головних параметрів лісовозних автопотягів за техніко-експлуатаційними критеріями: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Н.В. Шевченко. – Львів: 2012. – 21 с.
6. Дячук М.В. Дослідження плавності руху багатовісного вантажного автомобіля / М.В. Дячук, О.С. Лиходій // Новини науки Придніпров'я: наук.-практ. журнал. – Сер.: Інженерні дисципліни. – Дніпропетровськ: Вид-во ПРАСІА. – 2003. – № 5. – С. 27-32.

### Билик Б.В., Шевченко Н.В. Моделирование вертикальных колебаний лесовозного автопоезда с учетом инерционных параметров пакета полухлыстов

Рассмотрена методика расчета момента инерции и координат центра массы пакета полухлыстов по данным его размеров и веса. Обоснована схема эквивалентной динамической модели для расчета вертикальных колебаний лесовозного автопоезда с двухосным балансирным роспуском и составлена математическая модель, описывающая вертикальные колебания автопоезда с учетом вертикально-угловых колебаний пакета древесины. Имитационным моделированием подтверждено влияние массы и длины пакета на показатели плавности хода автопоезда.

**Ключевые слова:** лесовозный автопоезд, роспуск, балансирная подвеска, момент инерции, вертикальные колебания, имитационное моделирование.

### Bilyk B.V., Shevchenko N.V. Simulation of vertical vibrations of logging train with the inertia parameters of the package trunks

We consider the method of calculating the moment of inertia and center of mass coordinates trunks packet according to its size and weight. Justified equivalent circuit of the dynamic model for the calculation of the vertical oscillations of logging train with a two-axle unsprung dissolution trailer and compiled a mathematical model that describes the vertical vibrations of the train car, including vertical angular vibration trunks package. Simulation modeling confirmed the influence of the mass and the length of the package on the performance trunks ride trains.

**Keywords:** logging combination, trailer, balance-suspension, time inertsshyi, vertical vibrations simulation.

УДК 666.3.135:667.637.4

Проф. М.М. Гивлюд, д-р техн. наук –

НУ "Львівська політехніка"; аспір. Л.Б. Демидчук – Львівська КА

### ФАЗОВІ ТА СТРУКТУРНІ ЗМІНИ У ПРОЦЕСІ ФОРМУВАННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ПРИ НАГРІВАННІ

Розглянуто питання фазових і структурних змін у процесі формування захисних покриттів під час нагрівання. Досліджено закономірності процесів взаємодії силіційорганічних сполук на основі наповнених поліметилфенілсилоксанів з оксидами-наповнювачами та можливості їх застосування для високотемпературного захисту залізобетонних будівельних конструкцій.

**Ключові слова:** захисне покриття, органосилікатний матеріал, фазові та структурні зміни, поліметилфенілсилоксан.

Високотемпературний і вогневий захист металевих і бетонних конструкцій полягає у створенні на їх поверхні теплоізолювальних щільних екранів з низькою температуропровідністю, які здатні витримувати високі температури й ізолювати поверхню матеріалу від прямої дії агресивних факторів, що зменшує прогрівання підкладки і значно збільшує реальну межу температуростійкості та зберігає його функції за дії високих температур протягом тривалого періоду часу [1].

На цей час високотемпературний захист конструкцій проводять на основі техніко-економічного аналізу із врахуванням таких факторів: відповідної межі температуростійкості, типу конструкції, умов експлуатації конструкції, агресивності навколишнього середовища, трудомісткості робіт під час нанесення покриття [2]. Тому для високотемпературного захисту матеріалів використовують покриття на основі наповнених поліорганосилоксанів [3]. Під час нагріван-

ня у покриттях відбувається термоокисна деструкція органічних зв'язок із зміною їх структури.

Серед поліорганметалосилоксанів виділяють полімери, ланцюги молекул яких побудовані з атомів силіцію, кисню та алюмінію. Їх застосовують для виготовлення пластмас, які можуть ефективно працювати за нагрівання до 573 К [4]. При термічному розкладі у них зберігається зв'язок Si-O-Al. Нагрівання вище від 523 К характеризується обміном фенільних і алкідних груп між алюмінієм і силіцієм.

Основним продуктом термоокисної деструкції поліметилфенілсилоксану є дрібнодисперсний слабо кристалізований силіцію (IV) оксид, який виступає як "каркасоутворюючий" компонент, а в силікатних матеріалах є кислотним початком хімічних реакцій при нагріванні. Тому, залежно від виду наповнювача у складі захисного покриття, можливе утворення нових силікатних фаз.

Розглянемо послідовність процесів взаємодії між компонентами покриття у процесі його формування в разі нагрівання за допомогою комплексного термічного аналізу. На кривій ДТА (рис. 1) композиції поліметилфенілсилоксан- $Al_2O_3$ - $ZrO_2$ -шамотний бій зафіксовано 5 екзо ефектів з максимумами за 822, 918, 1045, 1395 та 1505 К.

Початок першого екзотермічного ефекту та відповідну втрату маси покриття можна віднести до процесу термоокисної деструкції поліметилфенілсилоксану, що зумовлено відривом метильних радикалів. На процес деструкції метильних радикалів накладається екзо ефект деструкції фенольних радикалів з максимумами при 908 К і 1045 К. Деструкція зв'язки завершується за температури 1075 К. Початок екзо ефекту за 1275 К можна віднести до структурних перетворень у утвореному кремнеземистому каркасі та початку кристалізації первинної мулітової фази. Екзо ефект з максимумом за 1395 К можна віднести до кристалізації муліту із алюмінію оксиду і утвореного кремнезему, а за 1505 К – циркону. Втрата маси зразка в разі нагрівання до температури 1673 К становить 19,3 мас. %.

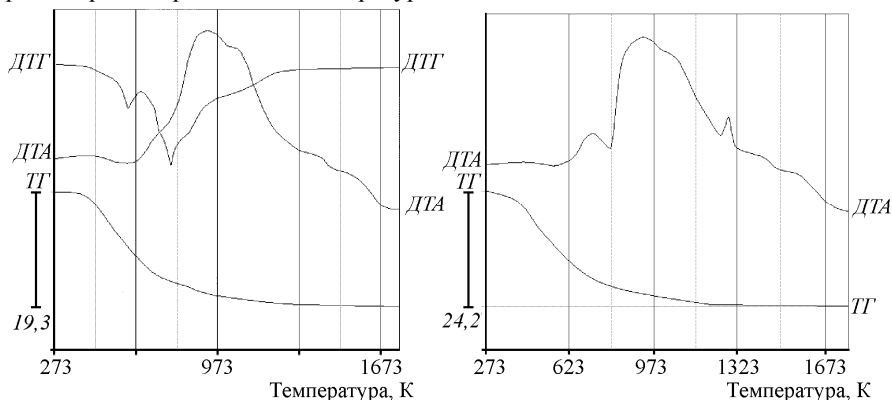


Рис. 1. Комплексний термічний аналіз наповненого  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  та шамотним боєм поліметилфенілсилоксану

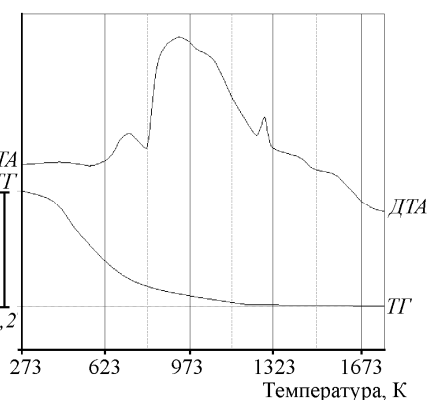


Рис. 3. Термограма та крива втрати маси наповненого  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  поліметилфенілсилоксану з додатком 10 мас. % каоліну

Результати ДТА підтверджуються рентгенофазовим аналізом (рис. 2).

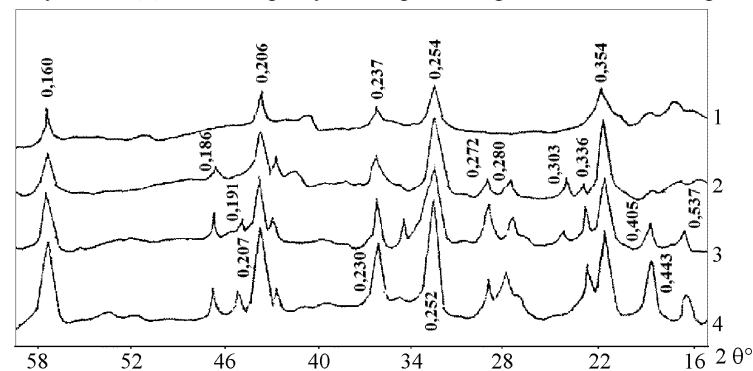


Рис. 2. Дифрактограми наповненого  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  та шамотним боєм поліметилфенілсилоксану в разі нагрівання до температури: 1) вихідний; 2) 1073 К; 3) 1373 К; 4) 1773 К

Дифрактограма досліджуваної композиції до нагрівання свідчить про присутність  $\alpha$ - $Al_2O_3$  ( $d/n = 0,347; 0,254; 0,237; 0,208; 0,160$  nm),  $ZrO_2$  ( $d/n = 0,369; 0,316; 0,283; 0,264; 0,254; 0,184$  nm) та муліта ( $d/n = 0,537; 0,336; 0,211$  nm), який є складовою шамотного бою та кристобаліта ( $d/n = 0,405$  nm). Нагрівання до температури 1073 К (крива 2, рис. 2) приводить до підвищення інтенсивності рефлексів  $\alpha$ - $Al_2O_3$   $ZrO_2$  за рахунок збільшення їх вмісту у зразку внаслідок термоокисної деструкції зв'язки.

Підвищення температури до 1373 К веде до появи дифракційних максимумів з  $d/n = 0,537; 0,336; 0,211$  nm, які відповідають муліту. Нагрівання до температури 1573 К супроводжується зменшенням інтенсивності рефлексів  $\alpha$ - $Al_2O_3$  і утворенням в системі  $\beta$  – кристобаліту ( $d/n = 0,405$  nm). У разі нагрівання до температури 1773 К у системі проходить повна взаємодія кремнезему,  $\alpha$ - $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  з утворенням муліту і циркону. Рефлекси  $\beta$  – кристобаліту зникають повністю (крива 4, рис. 2).

Проведеними дослідженнями встановлено, що в разі нагрівання наповненого  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  та шамотним боєм в інтервалі температур 573...1045 К відбувається деструкція зв'язки з утворенням високодисперсного аморфного кремнезему. Зниження температури завершення деструкції зв'язки на 165 градусів можна пояснити каталітичною дією наповнювача на поліметилфенілсилоксан. Нагрівання покриттів за температури вище від 1285 К супроводжується утворенням муліту і  $\beta$  – кристобаліту, а подальше нагрівання вище від 1573 К супроводжується кристалізацією циркону та інтенсивним зменшенням аж до зникнення  $\beta$  – кристобаліта.

При введенні до складу покриття попереднього складу в'язучого каоліну на термограмі зафіксовано аналогічні фізико-хімічні процеси з додатковим накладанням на них термічних ефектів глинистої складової. На кривій ДТА (рис. 3) порівняно з рис. 1 накладається ендоефект в інтервалі температур 823...1073 К дегідратації каоліну, який призводить до послаблення зв'язки між іонами у кристалічній ґратці каолініту. У разі подальшого нагрівання утворено-

го метакаолініту ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) з'являється гострий екзотермічний пік за 1253 К і в системі з'являється термодинамічно більш стійка фаза за рахунок відновлення s-, p- зв'язків кристалічної ґратки, а саме – муліт. Наявність останнього стабілізує кристалічну структуру покриття, що веде до збільшення термостабільності матеріалу у процесі нагрівання-охолодження.

Подальше нагрівання покриття до температури вище від 1573 К веде до утворення в його складі цирконової фази. Треба зазначити, що втрата маси зразка становить 24,2 мас. %, що на 4,9 мас. % вища від попереднього за рахунок дегідратації каоліну. Встановлено, що в разі нагрівання наповненого  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  та шамотним боєм поліметилфенілсилоксану до температури 1285 К у складі покриття утворюється мулітова фаза із продуктів термоокисної деструкції зв'язки і  $Al_2O_3$ , вміст якої зростає за нагрівання вище від 1393 К за рахунок взаємодії наповнювача із силіційкисневим залишком. Цирконова фаза утворюється при термообробленні вище від 1573 К.

Введення до складу покриття 10 мас. % каоліну сприяє підвищенню вмісту муліту в разі нагрівання вище від 1233 К з метакаоліну і циркону – 1573 К. Наявність у покритті склофази сприяє розчиненню у ній утвореного при розкладі метакаоліну  $\beta$  – кристобаліту. Заміна частини оксидного наповнювача на каолін збільшує вміст муліту, та зменшує вміст  $\beta$  – кристобаліту. Аналізуючи фазовий склад зазначених складів покриттів можна стверджувати про можливість їх використання для високотемпературного захисту конструкційних матеріалів при їх нагріванні до 1773 К.

Для досягнення високих показників температуростійкості, а особливо вогне- і термостійкості, пористість захисних покриттів повинна бути досить високою (40...80). Цього можливо досягнути шляхом введення до складу композицій для покриттів органовмісних компонентів – зв'язок, які при нагріванні випаровуються, внаслідок чого утворюється поризована структура матеріалу.

Формування первинної структури захисного покриття проходить у разі його затвердіння, а вторинної – за дії високих температур. В умовах реального нагрівання за значного градієнта температур (20...120 град/хв) у захисному шарі може проходити швидко випаровування залишку толуолу, що значно впливає на структуру матеріалу. Толуол, який використовують як розчинник поліметилфенілсилоксану, починає випаровуватись в разі нагрівання вище від температури 293 К, хоча температура його пароутворення становить 383,6 К. Поверхня захисного покриття є щільною і твердою, а середина знаходиться у пористому стані. Гази, які утворюються під час випаровування, починають спучувати захисний шар внаслідок неможливості виходу на поверхню, що істотно впливає на мікроструктуру покриття. Тому важливим є вивчення мікроструктури захисних покриттів залежно від їх складу, температури нагрівання, градієнта температур та товщини.

Як видно з рис. 4, а, структура покриття представлена щільно скріпленіми частинками оксидного наповнювача різної форми та конфігурації, армованої волокнистими голками каолінового волокна. Вміст армуючого каолінового волокна практично не впливає на мікроструктуру покриття при його формуванні.

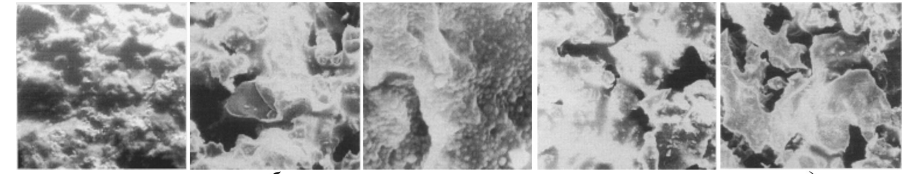


Рис. 4. Мікроструктура захисного покриття у процесі нагрівання:  
а) вихідна; б) 573 К; в) 673 К; г) 773 К; д) 873 К

Нагрівання до температури 573 К веде до збільшення пористості матеріалу та часткового ущільнення міжпорових перегородок (рис. 4, б). У структурі захисного покриття присутні мікропори розміром 0,4...18 мкм, які нерівномірно розташовані за його товщиною. Наявність у складі захисного покриття каолінового волокна проявляється у вигляді закінчених частинок, що проглядаються у міжфазовому просторі. У разі збільшення температури нагрівання до 673 К у структурі захисного покриття за рахунок термоокисної деструкції поліметилфенілсилоксану формуються закриті пори, які мають розмір 14...16 мкм, що може істотно вплинути на захисні властивості покриттів (рис. 4, в).

Мікроструктура захисного покриття в разі нагрівання до температури 773 К (рис. 4, г) представлена оплавленим матеріалом, в якому знаходяться голчасті частинки каолінового волокна, мулітосиліманітової фази, шамотного бою та залишки зерен непрореагованого оксидного наповнювача. Пори ізольовані, їх розмір знаходиться у межах 8...25 мкм. Подальше нагрівання захисного покриття до температури 873 К (рис. 4, д) веде до часткового ущільнення за рахунок взаємодії компонентів наповнювача із силіційкисневим залишком, внаслідок чого утворюються хаотично розташовані по всій поверхні покриття мулітосиліманітова (голчаста) та цирконова (пластична) фази. Пори у покритті мають зазвичай закритий характер.

У разі введення до складу вихідної композиції каоліну мікроструктура після затвердіння не змінюється. Відомо, що під час нагрівання захисного покриття за рахунок видалення залишків органічного розчинника та утворення газоподібних продуктів термоокисної деструкції поліметилфенілсилоксану відбувається утворення пор різної конфігурації і розмірів, яка залежить від товщини покриття, градієнта та температури нагрівання.

Ми вивчили вплив товщини захисного покриття на показник його загальної пористості за нагрівання до температури 873 К (період термоокисної деструкції поліметилфенілсилоксану). Встановлено (рис. 5), що мінімальне збільшення показника загальної пористості захисного покриття (6...16 %) проходить у разі його нагрівання до температури 573 К і товщини 400...600 мкм, залежно від складу.

Для захисного покриття товщиною 600 мкм встановлено залежність показника загальної пористості від температури нагрівання (рис. 6). У разі нагрівання покриття до температури 513 К показник загальної пористості становить 2 % за рахунок випаровування залишку розчинника. Піднімання кривих залежності показника пористості при нагріванні вище від температури 623 К прохо-

дить за рахунок процесів термоокисної деструкції поліметилфенілсилоксану. Максимальне значення загальної пористості знаходиться при нагріванні до температури 753 К (максимум процесу деструкції). Слід відзначити, що мінімальне значення загальної пористості (28,3) має покриття складу б.

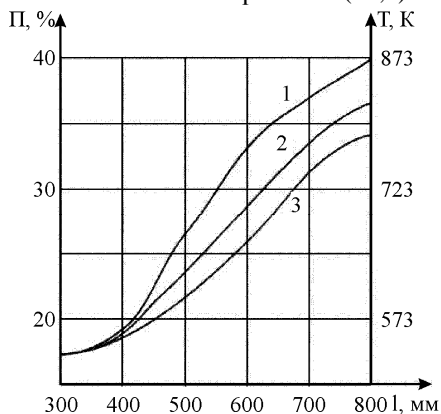


Рис. 5. Залежність показника загальної пористості від товщини захисного покриття (швидкість нагрівання 20 град/хв.): 1) складу 2; 2) складу 5; 3) складу б

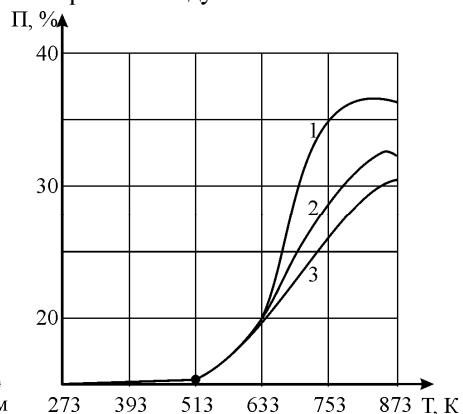


Рис. 6. Залежність показника загальної пористості захисного покриття від температури нагрівання (Т): 1) складу 2; 2) складу 5; 3) складу б

Підвищення температури нагрівання вище від 753 К веде до зменшення показника пористості внаслідок перебігу процесів взаємодії між компонентами із утворенням нових силікатних фаз, які ущільнюють структуру матеріалу за рахунок спікання.

**Висновки.** При нагріванні покриттів проходить взаємодія мінерального залишку зв'язки з наповнювачем з утворенням температуростійких мулітової та цирконової фаз при температурі відповідно 1373 К та 1523 К. Введення до складу покриттів каоліну в кількості 7,5...10,0 мас. % знижує температуру мулітоутворення до 1270 К. Шамотний бій виступає у якості інертного наповнювача.

Встановлено, що пористість захисного покриття зростає з підвищенням температури нагрівання та знаходиться в межах 36...44 % при температурі 823 К. Методами фізико-хімічного аналізу встановлено, що розроблені склади покриттів можна рекомендувати для захисту металевих та залізобетонних будівельних конструкцій від дії високих температур.

### Література

1. Mackenzie J. Ceramics processing research laboratory / J. Mackenzie // Ceram. Jap. – 1992. – Vol. 27, № 1. – Pp. 52-53.
2. Бережной А.С. Физико-химические системы тугоплавких неметаллических и силикатных материалов / А.С. Бережной, Я.Н. Питак, А.Д. Пономаренко, Н.П. Соболев. – К. : Изд-во УМК ВО, 1992. – 171 с.
3. Полифункциональные элементоорганические покрытия / под общ. ред. А.А. Пашенко. – К. : Вид-во "Вища шк.", 1987. – 198 с.
4. Сьменко І.В. Шляхи регулювання властивостей оксидної кераміки, одержаної із наповнених силіційорганічних композицій / І.В. Сьменко, М.М. Гивлюд // Вісник Донецького держав-

ного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Сер.: Технічні науки. – 2006. – № 1. – С. 148-152.

### Гивлюд М.М., Демидчук Л.Б. Фазовые и структурные изменения в процессе формирования защитных покрытий при нагревании

Рассмотрены вопросы фазовых и структурных изменений в процессе формирования защитных покрытий при нагревании. Исследованы закономерности процессов взаимодействия силицийорганических соединений на основе наполненных полиметилфенилсилоксанов с оксидами-наполнителями и возможности их использования для высокотемпературной защиты железобетонных строительных конструкций.

**Ключевые слова:** защитное покрытие, органосиликатный материал, фазовые и структурные изменения, полиметилфенилсилоксан.

### Gyvlud M.M., Demidchuk L.B. Phase and structural changes in the process of forming of sheeting at heating

The questions of phase and structural changes are considered in the process of forming of sheeting at heating. Conformities to the law of processes of co-operation of the organic links connections are investigational on the basis of gap-filling polymethylphenilsiloxans with oxides and possibilities of their use for high temperature defence of reinforced-concrete build constructions.

**Keywords:** sheeting, organic links material, phase and structural changes, polymethylphenilsiloxan.

УДК 663.532:621.928.1-047.58

Проф. В.Є. Зубков, д-р техн. наук –  
Луганський НУ ім. Тараса Шевченка

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ У ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ БЛОКОВАНОМУ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

Розроблено схему безперервного технологічного процесу сепарації коренебульбоплодів у блокованому псевдозрідженому шарі (БПШ). Виконано математичне та експериментальне моделювання процесу руху тіла у стаціонарному БПШ. Визначено величину технологічного коридору, в інтервалі якого можливе повне відокремлення коренебульбоплодів від рівновеликих домішок.

**Ключові слова:** моделювання, сепарація, коренебульбоплоди, домішки, блокований псевдозріджений шар (БПШ).

**Постановка проблеми.** Механізована технологія виробництва коренебульбоплодів, що базується на машинах підкопуючого типу, проблематична тим, що до прибираючого вороху, разом із коренебульбоплодами, потрапляє значна кількість ґрунтових грудок і каменів, відокремлення з вороху яких найчастіше здійснюється вручну [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У країнах, де обробляється картопля, зареєстровано авторські свідоцтва та патенти, проведено значну кількість досліджень, спрямованих на створення робочих органів для відділення бульб від грудок ґрунту і каменів. Розроблено та експлуатуються сепаратори декількох типів [1-4], однак вони всі з тих чи інших причин не набули широкого практичного застосування.

Найбільшу увагу вчених і конструкторів привертають способи і технічні засоби, що реалізують відмінність за щільністю поділюваних компонентів. Одним із перспективних є спосіб відокремлення коренебульбоплодів від ґрунто-