

логості (кімната); АСР (аналогово-цифровий перетворювач); АСР\_free (чи вільний аналогово-цифровий перетворювач); CPU (центральний процесор); CPU\_free (чи вільний центральний процесор); увімкнуті обігрівач (кімната); увімкнення кондиціонера (кімната); увімкнення обігрівача (кухня); увімкнуті витяжку (кухня).

У моделі сигнал від кожного давача має унікальний колір маркування, що дає змогу розрізнити їх між собою у процесі опрацювання. Припустимо, що розподіл кольорів буде таким: червоний – давач температури (кімната); синій – давач вологості (кімната); жовтий – давач температури (кухня); зелений – давач вологості (кухня).

Розроблена схемна модель функціонує таким чином. У випадку, коли АСР\_free містить мітку, то зчитується один із сигналів від давачів у АСР. У ситуації, коли CPU\_free і АСР містять мітки, то сигнал переходить у CPU, АСР\_free отримує мітку. Якщо CPU містить мітку, то вона переходить і вмикає один із пристроїв залежно від кольору маркування, CPU\_free отримує мітку. При початковому маркуванні, коли спрацював давач температури у кімнаті і давач вологості у кухні, отримуємо граф досяжності, який зображено на рис. 4.

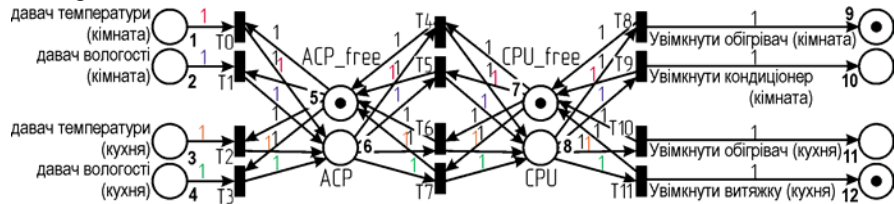


Рис. 3. Результати спрацювання моделі

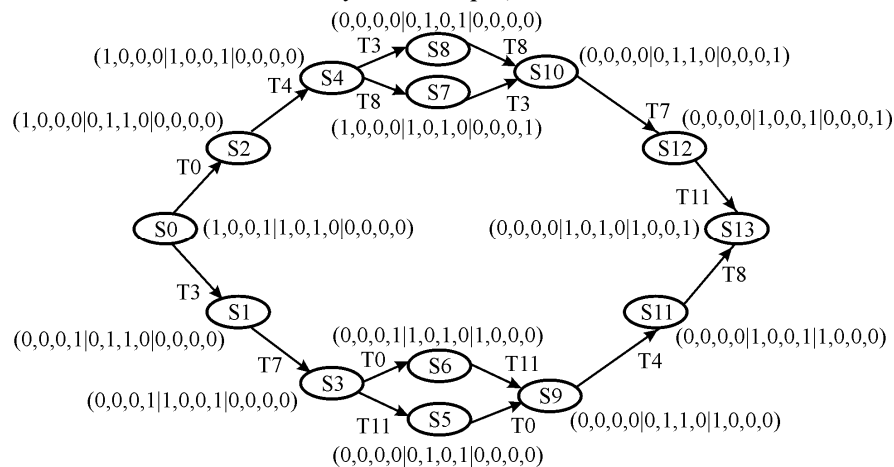


Рис. 4. Граф досяжності станів для мережі Петрі

У кінцевому стані спрацювали обігрівач у кімнаті і витяжка у кухні.

Усі варіанти переходу завершуються однаковим кінцевим станом, де усі переходи спрацювали, мережа є жива і без тупиків.

**Висновок.** Отже, розроблено схемну модель підсистеми клімат-контролю для системного рівня автоматизованого проектування інтелектуального будинку. Наведено результати роботи підсистеми клімат-контролю для 2-кімнатної квартири та наведено граф досяжності для цієї моделі.

**Література**

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs / Population Division WORLD POPULATION TO 2300. – New York : United Nations, 2004. – 240 с. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.un.org/esa/population/publications/longrange2/WorldPop2300final.pdf>.
2. Гололобов В.Н. "Умный дом" своими руками / В.Н. Гололобов. – М. : NT Press, 2007. – 416 с.
3. Clicks & Mortar: The costs and benefits of intelligent buildings, The Hammer Smith Group, New York 10 с. [Electronic resource]. – Mode of access [http://www.thehammersmithgroup.com/images/reports/intelligent\\_bldgs.pdf](http://www.thehammersmithgroup.com/images/reports/intelligent_bldgs.pdf).
4. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования : учебник [для студ. ВУЗов] / И.П. Норенков. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.
5. Роберт К. Элсенпитер Умный Дом строим сами : пер. з англ. / Роберт К. Элсенпитер, Тоби Дж. Велт – М. : Изд-во КУДИЦ-ОБРАЗ, 2005. – 384 с.
6. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М. : Изд-во "Мир", 1984. – 264 с.
7. Kurt Jensen, Kristensen Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems / Jensen Kurt, M. Lars. – Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2009. – 384 с.
8. Platform Independent Petri net Editor 2. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.pipe2.sourceforge.net/>

**Теслюк В.М., Теслюк Т.В., Ляпандра А.С. Модель подсистемы климат-контроля для анализа работы интеллектуального дома**

Разработана модель подсистемы климат-контроля интеллектуального дома на основе цветных сетей Петри и приведены результаты исследования этой подсистемы на основе построенного графа достижимости состояний. Построенная модель даст возможность повысить эффективность автоматизированного проектирования интеллектуальных домов.

**Ключевые слова:** модель, подсистема климат-контроля, сети Петри.

**Teslyuk V.M., Teslyuk T.V., Lyapandra A.S. Climate Subsystem Model for intellectual building work analysis**

Climate Subsystem Model for intellectual building work analysis on the basis of Petri nets is developed and the research results of this system are presented on the basis of the built graph of reach. The developed model enables to enhance the efficiency of automated intellectual buildings design.

**Keywords:** model, climate subsystem, Petri nets.

УДК 621.9 Асист. Н.О. Арсеник – Львівська КА; викл. М.Ю. Брусенцова<sup>1</sup>

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІБРОТРАНСПОРТЕРІВ**

Проведено аналіз виникнення вібраційних машин і використання вібраційних процесів у харчовій промисловості. Розглянуто вібраційне обладнання для транспортування продуктів. Проаналізовано принципові схеми вібраційних транспортуючих машин. Надано детальний аналіз вібраційних збудників, акцентовано увагу на їх перевагах та недоліках.

**Ключові слова:** вібрація, транспортуючі машини, транспортер.

<sup>1</sup> Львівський державний коледж харчової і переробної промисловості Національного університету харчових технологій

Вібраційні процеси людина використовувала з давніх-давен на підсвідомому рівні – під час підсушування злаків, просіювання борошна, розділення сипких продуктів на фракції або їх ущільнення. Важка фізична праця спонукала людину механізувати ці процеси.

Одна з перших згадок про вібраційні машини міститься в журналі "The London Journal of Arts, Sciences and Manufactures, and Repertory of Patent Inventions // Conducted by Mr. W. Newton. – London, 1849. – Vol. XXXIV" без конкретних посилань на авторів. За даними, отриманими з цього джерела, можна лише констатувати факт, що тоді вже діяли зразки перших вібраційних машин [1].

Перші вібраційні машини переважно містили рухомі з'єднання (ексцентриковий привод). З огляду на це, механізми приводу часто виходили з ладу, а отже, були недовговічними. У патенті американця Morley P. Reynolds № 123,109 (GB) "Improvements in Screening Devices", що заявлено в 1917 р. (опубліковано в 1919 р.), усунені рухомі з'єднання в механізмах приводу віброобладнання. Автор винаходу вдосконалює сепаратор, де вперше для технологічного обладнання (згідно з патентним пошуком О.С. Ланця) застосовує електромагнітний віброзбудник для надання коливального руху сити [1].

Серед зарубіжних фірм, що сьогодні займаються тою чи іншою розробкою вібраційних машин з електромагнітним приводом, можна зазначити такі: "Roto-Finish", "Valter", "Lord Chemical", "Trowal", "Wibral", "Jeffrey Specialty Equipment Corporation", "Alan Ross Machinery", "B.E.S.T. Inc.", "V.T.R. Inc.", "JVI", "Ward Industrial Equipment Ltd", "Vibro Techniques", "OEPL", "Autofeed Corporation", "Carrier Vibrating Equipment, Inc.", "General Kinematics", "Vimec".

Розробляли методики розрахунку та експериментальні зразки міжрезонансних МКС представники Київської школи вібротехніки: Ю.Ф. Чубук, І.І. Назаренко, В.Б. Яковенко та ін. Розробки відповідних вібраційних машин стосувались обладнання для ущільнення бетоноsumішей в будівельній промисловості. Цінним є те, що роботи виконували за напрямом міжрезонансних вібраційних машин з електромагнітним приводом. У межах Львівської політехніки над створенням тримасових вібраційних машин були задіяні такі науковці та провідні інженери, як: В.О. Повідайло, Р.І. Сілін, В.А. Щигель, В.Д. Уфимцев, О.В. Гаврильченко, Ю.П. Шоловій, А.Л. Беспалов [1].

У машинобудуванні та харчовій промисловості (мукомельному, макаронному, хлібопекарському, кондитерському, цукровому, крохмалє-паточковому та інших виробництвах) завдяки високим експлуатаційним властивостям, широке застосування дістали вібраційні транспортні машини та установки: вібраційні бункерні живильники, сита, підйомники та транспортери. Ці установки здійснюють завантаження та розвантаження обладнання, міжопераційні переміщення, піднімання та опускання заготовок, а також транспортні операції, необхідні в процесі автоматизованого виготовлення харчових продуктів і пакування.

Актуальність вібраційних і транспортно-технологічних машин є у тому, що вони здійснюють у процесі транспортування і технологічну обробку

переміщуваного вантажу (сушіння, класифікацію, гранулювання, зневоднювання тощо). До вібраційних транспортуючих машин відносять вібраційні конвеєри, вібраційні живильники і грохоти, а також вібраційні підйомники і вібраційні бункери-дозатори. За принципом роботи електромагнітні вібропристрої можна розділити на два основних типа: з поступовим рухом виробів на площині (віброконвеєри, лотки-транспортери, віброкасети) і з рухом за гвинтовою лінією, спіралью або по колу (віробункерні живильники, віброживильники-підйомники).

Найширше застосовують вібраційні транспортуючі машини, що працюють у режимі прямолінійних гармонійних коливань. Застосовують також установки, що працюють у режимі прямолінійних бігармонічних коливань. У ряді конструкцій траєкторією вантажонесучого органа є еліпс. Конфігурація еліпса істотно залежить від кута зрушення фаз між складовими і може мінятися від прямолінійної до кругової. Розроблено вібраційні транспортуючі машини, що працюють у режимі напівхвильових гармонійних прямолінійних і еліптичних коливань.

Під час розгляду основних структурних схем вібраційних транспортуючих машин як характеристичні ознаки розглядають число ступенів вільності динамічної системи вібраційної машини, її привід і характеристику пружних зв'язків. З огляду на те, що особливості принципового пристрою вібраційних транспортуючих машин значною мірою визначаються типом використовуваного в них приводу, структурні схеми розглядають стосовно електромагнітних, пневматичних, відцентрових, ексцентрикових і гідравлічних приводів.

Як було зазначено вище, вібропристрої діляться на два типи: вібротранспортери і вібраційні бункерні живильники. Вперше вібраційний транспортер з незалежними вібраційними збудниками повздовжніх і нормальних коливань з регулюванням зсувом фаз між ними запропонував В.І. Якубович [4]. Роздільні пружні елементи системи повздовжніх і нормальних коливань виконані у вигляді плоских пружин, розміщених своєю площиною перпендикулярно збуджуючими електромагнітами коливаннями.

Ідентична конструкція пружних систем є в англіїців А.Х. Редфорда і Дж. Бутройда [2], однак дуже важливим недоліком вібротранспортера [3] є наявність паразитних крутильних коливань. Цей недолік усунено в конструкції В.А. Повідайло і В.А. Щигеля завдяки суміщенню центрів активної і реактивної мас [2]. Однак у ньому пружна система володіє "конструкційним гістерезисом" і поганою віброізоляцією конструкції. Після впровадження в конструкції транспортерів гратчастих пружин вдалося добитись таких переваг: висока жорсткість кріплення пружних елементів, усунення конструкційного гістерезису і феттінг-корозії, а також забезпечується необхідна для самостабілізації резонансна відстройка.

Електромагнітні вібраційні транспортуючі машини відповідно до числа приводів поділяють на однопривідні та багатопривідні. Однопривідні машини бувають одномасні, двомасні й трьомасні; багатопривідні – одномасні й багатомасні. Однопривідний одномасний електровібраційний конвеєр коливною масою є тільки робочий орган. Недоліком вібраційних конвеєрів

одномасної системи є їх неврівноваженість, внаслідок чого вони передають динамічне навантаження на несучі конструкції. На сьогодні вони знаходять обмежене застосування.

Двомасний електровібраційний конвеєр – це вільна динамічна система. Перевага цього конвеєра в тому, що ця система є ізольована від навколишнього середовища амортизуючими пружинами. Завдяки пружному зв'язку через ресору обидві маси можуть переміщуватись одна відносно одної і здійснювати коливання, які збуджуються й підтримуються механічними імпульсами електромагнітного вібратора. Зусилля від вібратора однаково передаються як одній, так і другій коливній масі, мають рівну величину та взаємно протилежні напрямки. Тому під час коливань мас центр інерції такої системи не може змінювати свого положення, тобто залишається нерухомим у просторі і вона не передає динамічних навантажень на опори.

Реверсивні вібраційні конвеєри бувають одномасні опорної конструкції, тримасні опорної конструкції і тримасні підвісної конструкції. Їх перевага у тому, що для зміни руху не потрібні додаткові пристрої, а зміна напрямку транспортування такої системи досягається шляхом взаємної зміни фазування електромагнітних вібраторів: якщо боковий вібратор здійснює хід вправо, а нижній вібратор – хід вгору, то вантаж буде переміщуватись вправо. Транспортування вліво буде здійснюватись в тому випадку, коли за умови ходу нижнього вібратора вгору, боковий вібратор здійснює хід вліво.

Вібраційні лотки-транспортери з незалежно збуджувальними позовжніми і нормальними коливаннями дають змогу дистанційно регулювати параметри режиму вібротранспортування, здійснювати реверсування руху, а внаслідок зсуву фаз між коливаннями – одержувати еліптичні траєкторії. Під час еліптичних коливань реалізується ефективні безвідривні режими вібротранспортування з високим коефіцієнтом швидкості. Основним недоліком є висока чутливість їх нормальних коливань до зміни маси виробів, що транспортуються. За умови транспортування в безвідривних режимах маса виробів повністю приєднується до маси робочого органа внаслідок його нормальних коливань, істотно впливаючи на резонансну настройку й амплітуду нормальних коливань. Цей недолік, незважаючи на ефективність еліптичних коливань, обмежував область використання лотків порівняно дрібними виробами.

Перевагами лотків-транспортерів з безвідривним вібраційним транспортуванням є те, що їх використовують для транспортування сипких матеріалів, одношарові ряди яких під час транспортування в режимах з підкидуванням схильні до здвоєння, а також у випадках, коли необхідно реверсування напрямку руху.

Лотки-транспортери з прямолінійними коливаннями є ефективним високопродуктивним транспортуванням, якщо процес здійснюється під час коливань з оптимальним для кожного випадку кутом підкидання і при транспортуванні орієнтованих виробів повинні задовольняти такі вимоги: строга постійність вертикальних амплітуд; надійна віброізоляція конструкції вібротранспортера, яка усуває вплив цього на роботу технологічного обладнання. Якщо лоток не буде задовольняти ці вимоги, то у ньому виникатимуть крутіліні коливання і він не буде придатний для транспортування.

З усіх розглянутих приводів у машинобудуванні та харчовій промисловості найбільш розповсюджені електромагнітні вібратори. За своєю принциповою будовою вони володіють найбільш досконалим видом приводу. Якщо в більшості приводів відбувається перетворення обертового руху двигуна в зворотньо-поступальний рух вібратора, то в електромагнітних необхідний реверсивний рух забезпечується безпосередньо без яких-небудь проміжних механізмів. Електромагнітні вібратори не мають поверхонь тертя, що забезпечує їх довговічність, а також допускають зручне регулювання режиму роботи.

Більшість вібротранспортних пристроїв, що використовуються у промисловості, виконані з напрямленими коливаннями, коли робочий орган пристрою здійснює гармонічні коливання за прямолінійною траєкторією. Вони найбільш прості та надійні, але не є універсальними, оскільки налагоджені на визначений, оптимальний для певного класу виробів режим вібротранспортування. І не дають змоги дістати прийнятні режими роботи для різних виробів, тому їх використання обмежено для гнучких виробничих ліній.

Найбільш підходящими для організації робочого середовища є вібраційні транспортні пристрої з незалежним збудженням повздовжніх і нормальних коливань відносно несучої поверхні. Такі транспортери завдяки дистанційному незалежному регулюванню повздовжніх і нормальних амплітуд коливань і кутів зсуву фаз між ними дають змогу налагоджуватись на режими транспортування, оптимальні для найрізноманітніших виробів, які різняться габаритами, масою, фрикційними властивостями, а також здійснювати реверс транспортування, переміщення найрізноманітнішими траєкторіями на площині. Крім того, еліптичні траєкторії коливань робочого елемента дають змогу досягнути більших швидкостей транспортування і кутів підйому, ніж прямолінійні [3, 4], особливо в безвідривних режимах руху.

Для вібраційного транспортування продуктів з невеликими розмірами в поперечному перерізі, одношарові ряди яких під час транспортування в режимах з підкиданням схильні до здвоєння, а також у випадках, коли необхідно реверсування напрямку руху, застосовуються лотки з бігармонічним і еліптичними коливаннями робочого органа. У лотках, реалізуючих бігармонічні повздовжні коливання, до робочого елемента плоскими пружинами приєднуються два реактивних елементи. Один віброзбудник має частоту 50 Гц, а другий віброзбудник – 100 Гц. Для віброізоляції системи застосовано роликові опори.

Еліптичні коливання здійснюються у тримасній системі, яка складається із робочого органа і реактивних елементів, зв'язаних з пружними системами вертикальних і горизонтальних коливань, виконаних у вигляді плоских пружин. У промисловості застосовують також вібротранспортери резонансної та зарезонансної дії.

Здвосні врівноважені транспортери, що працюють у резонансному режимі, за рахунок енергії, значно економічні, порівняно з вібротранспортерами, що працюють в резонансному режимі. Крім того, наявність у здвоєних врівноважених системах нульових точок коливань, що використовуються як точки опори, виключає передачу шкідливих коливань на фундамент та обслуговуючий персонал.

У процесі комбінування пружних елементів один з одним, а також з їх розташуванням на машині з метою підвищення надійності роботи, збільшення продуктивності тощо виникли нові види лотків-транспортерів з різними пружними системами. Вібраційні конвеєри досить прості в здійсненні автоматизації роботи, тобто в регулюванні режиму транспортування (швидкість руху, інтенсивність підкидання матеріалу та ін.) відповідно до процесу сушіння або охолодження.

Проаналізувавши основні структурні схеми вібраційних транспортуючих машин, можна зробити висновок, що сучасні технологічні процеси в харчовій промисловості та багатьох інших галузях потребують обладнання з високою надійністю, тому актуальним є створення методики інженерних розрахунків і вибору оптимальних параметрів роботи вібраційного обладнання.

### Література

1. Ланець О.С. Развитие межрезонансных машин с электромагнитным приводом / О.С. Ланець // Автоматизация виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2008. – Вип. 42. – С. 124-127.
2. Блехман И.И. Исследования процесса вибросепарации и вибротранспортировки / И.И. Блехман // Инженерный сборник. – 1952. – Т. 11. – 236 с.
3. Вибрации в технике : справочник / под ред. И.И. Блехмана. – М. : Изд-во "Машиностроение", 1979. – Т. 2. – 351 с.
4. Повідайло В. Вібраційні процеси та обладнання : навч. посібн. / В. Повідайло. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2004. – 246 с.
5. Силін Р.И. Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учебн. пособ. – Хмельницький : Вид-во ХНУ, 2004. – 270 с.

### *Арсиненко Н.А., Брусенцова М.Ю.* Перспективы использования вибротранспортеров

Проведен анализ возникновения вибрационных машин и использования вибрационных процессов в пищевой промышленности. Рассмотрено вибрационное оборудование для транспортировки продуктов. Проанализированы принципиальные схемы вибрационных транспортирующих машин. Приведен детальный анализ вибрационных возбудителей, акцентировано внимание на их достоинствах и недостатках.

**Ключевые слова:** вибрация, транспортирующие машины, транспортер.

### *Arsynenro N.O., Brusentsova M.Yu.* Future use vibration conveyor

It was analyzed appearance of vibration machines and usage of vibration processes in food industry. Vibrating equipment for transportation of products is examined. Analyzes the basic scheme vibration transporting machines. We give a detailed analysis of vibration agents, focuses on their strengths and weaknesses.

**Keywords:** vibration, transporting machines, conveyor.

УДК 697.92

*Аспір. Х.Р. Лесик*<sup>1</sup> – НУ "Львівська політехніка"

### АНАЛІЗ ЕКСЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМОСИФОННОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА ДЛЯ УМОВ ПОМІРНОГО КЛІМАТУ

Проаналізовано сучасний енергетичний стан у світі та окреслено енергоощадні заходи для його покращення, здійснено порівняння теплотехнічних характеристик рідинних і повітряних сонячних систем. Запропоновано конструкцію термосифонного сонячного колектора для будинків котеджного типу. Наведено результати натур-

них експериментальних досліджень із визначення ексергії запропонованого повітряного геліоколектора та його ексергетичного коефіцієнта. Результати обчислень представлено у графічному та аналітичному виглядах.

**Ключові слова:** термосифонний сонячний колектор, сонячна система, ексергія, повітряна система опалення.

**Актуальність роботи.** Після світової енергетичної кризи 1974 р. у будівельній та архітектурній практиці велику увагу приділяють економії органічного палива. За сучасних темпів використання природних джерел енергії, їхні запаси можуть вичерпатися вже у найближчі 50-100 років. Постійне зростання цін на викопні види палива змушує шукати альтернативні, більш дешеві та відновлювані джерела енергії.

Будинок нашого часу має відповідати таким вимогам: екологічність; енергоощадність; комфортність проживання та порівняно невелика вартість. Зазвичай ці вимоги простіше задовольнити для односторонніх будинків.

Енергоощадність досягається використанням ефективних ізоляційних матеріалів та технологій. Зазвичай максимальний ефект досягається від поєднання природних ізоляційних і будівельних матеріалів та відновлювальних енергій Сонця і вітру [1].

Одним із енергоощадних заходів обігрівання приміщень є застосування повітряних систем із пасивним використанням енергії Сонця. Повітряні колектори – це прості плоскі конструкції, що мають чимало переваг над рідинними геліосистемами. Складності, які виникають під час експлуатації рідинних сонячних систем, пов'язані з проблемами можливого замерзання робочого тіла, його втратами у системі, корозією металевого корпусу та трубопроводів, можливою токсичністю рідини. Крім того, важливо враховувати зміну тиску в геліосистемі, що виникає внаслідок перепаду температур теплоносія.

Основним недоліком повітря, як теплоносія, є низький коефіцієнт корисної дії через незначну, порівняно з водою, питому теплоємність і густину. Тому для отримання однакової кількості тепла від сонячного колектора необхідно збільшувати площу нагріву або забезпечити високі швидкості теплоносія за допомогою потужного вентилятора. Це приводить до зростання капітальних та експлуатаційних витрат [2].

Упродовж останніх десятиліть за кордоном здійснюють фундаментальні дослідження роботи геліосистем із позицій ексергетичної методології. Величину, що визначає працездатність ресурсів речовини та енергії, було названо ексергією, а функції, що визначають її значення, – ексергетичними. Оскільки ексергія є єдиною мірою придатності до дії енергетичних ресурсів, її застосування дає змогу об'єктивно оцінити джерела енергії будь-якого виду, зокрема і відновлюваних, і вторинних.

Що стосується конкретно геліоколекторів, варто зазначити, що вивчення ексергетичної ефективності розпочалося з Альтфелда, який у 1988 р. досліджував ексергію та оптимальні геометричні розміри каналу сонячного колектора [3]. Генг Лю в 1995 р. представив рівняння ексергетичної ефективності для повітряних геліоколекторів з плоскою теплопоглинальною пласти-

<sup>1</sup> Наук. керівник: доц. Желих В.М., канд. техн. наук