

**А. В. Ярмілко**, *ст. викладач*,  
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,  
б-р Шевченка, 81, м. Черкаси, 18031, Україна  
a-ja@ukr.net

**В. В. Грабовський**, *аспірант*,  
Інститут проблем математичних машин і систем НАН України,  
просп. академіка Глушкова, 42, м. Київ, 03680, Україна  
v-grabovskiy@mail.ru

**О. Г. Бабак**, *студент*,  
**А. М. Плєшкань**, *студент*  
Черкаський державний технологічний університет,  
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна  
roofeer@mail.ru

### ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ ОПТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

*У статті представлено новий підхід щодо організації процесу електронно-променевої обробки оптичних матеріалів. Запропоновано у системі інтелектуального управління електронно-променевою обробкою оптичних матеріалів використання систем технічного зору та методів візуалізації.*

**Ключові слова:** електронно-променева обробка, оптичні матеріали, поверхневий шар, стратегія керування, методи візуалізації, адаптивне управління.

**Вступ.** Термічна поверхнева електронно-променева обробка (ЕПО), як спеціальний вид обробки, знайшла своє використання у технологіях модифікації поверхонь і поверхневих шарів (ПШ) матеріалів з напівпровідниковими та діелектричними властивостями. Так, проплавлення поверхні матеріалу стрічковим електронним потоком використовується для знищення дефектного шару (ДШ) в поверхні оптичного скла рухомою ванною розплаву з її наступним охолодженням та утворенням молекулярно-гладкої поверхні силами поверхневого натягу, зміни хімічного складу, створення мікрорельєфу на поверхні матеріалу [1–7].

Проте, якість та прецизійність ЕПО неможливо забезпечити без гнучкого керування процесом, використання систем моніторингу обладнання та технологічних процесів, застосування якісно нових механізмів з керуючими засобами на базі промислових комп'ютерів, вбудованих в технологічне обладнання [8; 9]. Саме тому при управлінні виробничими системами ЕПО виникає необхідність надання цим системам інтелектуальних функцій.

**Метою даної роботи** є розширення способів інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень у системі керування

ЕПО шляхом впровадження нових каналів моніторингу технологічної ситуації та визначення структури системи керування, здатної забезпечити перехід до інтелектуального управління процесом.

**Обладнання і матеріали електронно-променевої обробки, методики дослідження.** У представленому дослідженні розглядається управління апробованим у наукових дослідженнях та промисловій експлуатації технологічним модулем, призначеним для ЕПО оптичних матеріалів. Виготовлення модуля та реалізацію на ньому електронно-променевої обробки здійснено у Черкаському державному технологічному університеті на кафедрі фізики на базі вакуумної установки УВН74-ПЗ, оснащеної піччю попереднього нагріву та охолодження оптичного матеріалу. Механізм переміщення забезпечує рух пластин в об'ємі вакуумної камери з постійною швидкістю 0...50 см/с.

Інструментом обробки є параксіальний стрічковий електронний потік з питомою потужністю  $P_{\text{пит}}$  у межах від  $10^1$  Вт/см<sup>2</sup> до  $10^5$  Вт/см<sup>2</sup>, який генерується електронною гарматою Пірса. Електронна стрічка довжиною  $l = 60$  мм та шириною  $b = 0,5$  мм має гаусове розподілення електронів за енергіями у своє-

му перерізі і площу  $S_{\text{пот}}$ . Стрічка спрямовується від електронної гармати на об'єкт обробки (пластину) по нормалі (кут у  $90^\circ$ ).

Об'єктом технологічного впливу у дослідженні слугували плоскопаралельні пластини з оптичного скла К8 і К108 у формі прямокутників з лінійними розмірами  $70 \times 14 \times 6$  мм з відполірованими поверхнями ( $R_z = 0,025$  мкм). Для візуалізації та визначення залишкових термонапружень у прозорому оптичному матеріалі до і після електронно-променевої обробки використано полярископ-поляриметр ПКС-250.

В даній роботі вперше розроблена і використана методика дослідження та обробки результатів вимірювання залишкових термонапружень у прозорих оптичних матеріалах, суть якої полягає у застосуванні комп'ютерної обробки отриманих на приладі ПКС-250 зображень оптичних ефектів для виділення візуальних ознак, які характеризують показники якості виробу.

**Основний матеріал дослідження. Отримані результати та їх обговорення.** У ході ЕПО поверхня пластини оплавляється електронним потоком на глибину до 160 мкм, а охолодження є кінцевою стадією формування модифікованого ПШ. Сформований ПШ відрізняється від основного матеріалу структурою, хімічним складом, оптичними властивостями, мікрогеометрією.

За критерії якості ПШ при обробці вибрані:

- середньостатистичний нанорельєф  $R_z$  поверхні;
- середньостатистична глибина  $h_{np}$  модифікованого ПШ;
- оптична однорідність ПШ (бездефектність, залишкові термонапруження);
- площинність  $N$ ,  $\Delta N$  поверхні пластин;
- залишковий рівень вихідної поверхні  $\Delta h$ .

При формуванні змінених за оптичними властивостями структур використовується спосіб з маскуванням скла термостійкими матеріалами, наприклад, нікелем, молібденом (знімні маски), алюмінієм чи хромом (незнімні – напилені у вакуумі) з наступною обробкою електронним потоком. Оплавлені таким чином поверхні скла на глибину більшу за 10 мкм навіть після тривалого відпалювання мають залишкові термічні напруження.

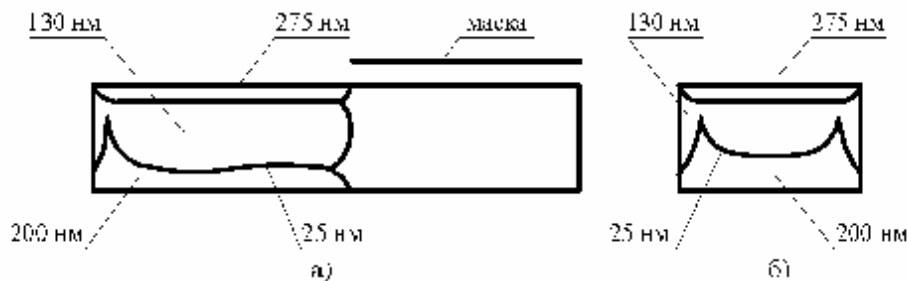
Для дослідження властивостей оброблених скляних пластин використано метод поляриметрії. При цьому встановлено, що рі-

зниця ходу звичайного і незвичайного променів має підвищене значення (275 нм) в зоні, обробленій електронним потоком. Це вказує на максимальні залишкові напруження в поверхні скла, що зумовлює змінення показника заломлення (рис. 1). Керування термічним циклом проплавлення та подальшого охолодження оптичного матеріалу дозволяє формувати в ньому необхідний рівень залишкових напружень. Наприклад, у виробках із скла К8, К108 формувалися поля достатніх напружень стиснення в 62...66 МПа і напружень розтягу до 3,2...3,6 МПа, що забезпечувало їх надійну експлуатацію при ударних навантаженнях. Таким чином, використовуючи відомі методи маскування для оптичного скла, можливо отримати структури з градієнтними оптичними властивостями.

Попри значні досягнення в управлінні процесами ЕПО [10], багатофакторність задачі підтримання заданого рівня якості та відносна складність керування параметрами технологічного процесу не завжди дозволяють отримати адекватні технічні рішення, які б поєднували високий і стабільний рівень якості та економічну ефективність виробництва. Ця обставина стимулює увагу до впровадження інтелектуальних систем прийняття рішень. Це, у свою чергу, призводить до створення обладнання нової якості, здатного автоматично адаптуватися до змін як у програмі виробництва, так і у технологічній ситуації. При цьому для забезпечення прийняття рішень і ефективного управління необхідно залучати великі обсяги інформації та виконувати її обробку в узгодженому з виробничими процесами темпі. Переважно, з огляду на технологічну складність та економічні параметри цих процесів, кількісний та якісний рівень залучення матеріальних, енергетичних та інформаційних ресурсів, необхідно забезпечувати обробку даних в реальному часі, особливо для виявлення небезпечних ситуацій та проведення заходів, які дозволяють уникати виникнення проблем та зберігати здатність реагувати на виникнення відмов і усувати їх. Пошук нових рішень в окресленій області є одним з пріоритетів заснованої провідними промисловими державами міжнародної програми «Інтелектуальні виробничі системи» (Intelligent Manufacturing Systems – IMS) [11], яка орієнтована на дослідження та розробку науково-практичних проектів за всіма аспектами автоматизації, інтеграції та інтелектуалізації ви-

робництва. Концепція цієї програми для забезпечення функціонування інтелектуальних систем управління передбачає збирання та обробку різноманітних видів інформації з усіх можливих внутрішніх та зовнішніх джерел [12]. Зазначимо, що комплексні системні

стратегії управління при виготовленні та експлуатації особливо актуальні для складних наукоємних виробів, оскільки витрати на їхнє підтримання у працездатному стані часто тожні або перевищують витрати на придбання [13].



**Рис. 1.** Якісна картина подвійного променезаломлення по товщині поздовжньої грані (а) та торця (б) скляної пластини К8 після обробки електронним потоком через змінну маску. Питома потужність потоку  $P_{\text{пот}} = 2,5 \cdot 10^2 \text{ Вт/см}^2$ ,  $V_{\text{пот}} = 2,8 \text{ см/с}$  [5]

Перелічені особливості та вимоги значною мірою характеризують обладнання та виробничі процеси ЕПО. Загальносистемна гнучкість систем ЕПО дозволяє виконувати обробку на різних технологічних режимах, які можуть забезпечувати прийнятні показники якості виробу при допустимій варіації економічної ефективності, та виконувати корекцію параметрів поточного режиму без зупинки процесу. Ця обставина дає можливість динамічно адаптувати виробничу систему до поточного стану визначальних факторів та номенклатури показників якості виробу [10] за даними моніторингу. Для отримання моніторингових даних мають бути задіяні, відповідно до концептуальних засад ІMS, всі можливі канали надходження прямої та опосередкованої інформації про стан виробничої системи та її складових. Для обробки оптичних матеріалів надзвичайно перспективним є використання візуального каналу. Інформативність відеоданих у процесах високоенергетичної обробки матеріалів і, зокрема, ЕПО, є високою, деякі оцінки для випадку аналізу модельних зображень зони зварювання подані у [14]. Властивості оптичних матеріалів, крім сигналів безпосереднього випромінювання у всіх доступних для спостереження частотних діапазонах, можуть бути ефективно проявлені також під дією зовнішніх опроміненень, причому на цей час добре розроблені як методи і засоби комп'ютерного аналізу зображень, так і теорія та практика технологічного трактування виявлених інформативних ознак. Зазначимо, що

перевагою використання візуального каналу є безконтактність знімання сигналу, досить розвинута елементна (компонентна) база та висока придатність відеосенсорів до вбудовування у існуючі системи ЕПО.

Представлена на рис. 1 структура модифікованої скляної поверхні ефективно досліджується за допомогою методів візуалізації, які за зображенням візуального ефекту (подвійне променезаломлення) дозволяють виділити межі областей з різними фізико-хімічними властивостями, отримати їхні метричні та статистичні характеристики. Результати комп'ютерної обробки кольорового растрового зображення, отриманого на ПКС-250 при дослідженні зразків обробленого оптичного скла, представлені на рис. 2. Алгоритм застосованої оригінальної програми передбачав послідовне застосування процедур розмивання Гауса, бінаризації за вказаними значеннями параметрів каналів RGB, отримання меж із застосуванням детектора Кенні та формування опуклої оболонки. На основі визначених меж технологічно значимих зон проводилося вимірювання їхньої глибини та визначення статистичних характеристик. Програму вимірювань можна варіювати залежно від завдань моніторингу (глибина окремих шарів, відстані точок отриманих роздільних ліній окремих спектральних областей від базової поверхні та ін.), проте вона обмежується технічними характеристиками оптичного каналу спостереження, зокрема – роздільною здатністю відеосенсора.

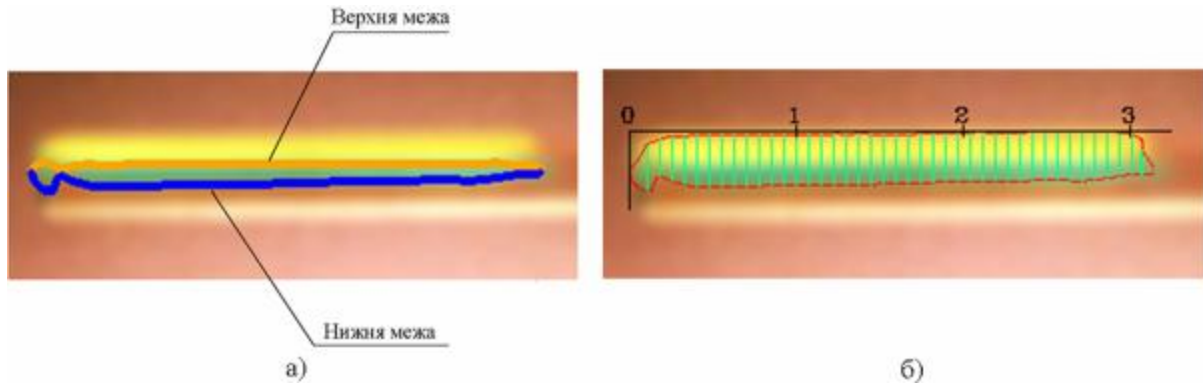


Рис. 2. Приклади візуальних ознак якості ЕПО скляної пластини та визначення їхніх метричних характеристик: межі зеленої спектральної області на картині подвійного променезаломлення (а) та виміри глибини жовто-зеленої спектральної області (б). Градування шкали – у дюймах

Таким чином, канал візуального спостереження забезпечує надходження значимої діагностичної інформації, яка дозволяє отримати оцінки якості виробу та організувати управління ЕПО відповідно до результатів моніторингу параметрів ПШ.

При розробці систем інтелектуального управління ЕПО варто розділити процеси прийняття рішень на тактичному та стратегі-

чному рівнях. В узагальненому вигляді система управління ЕПО може бути представлена дворівневою структурою (рис. 3). При цьому стратегічний рівень управління має забезпечити вибір оптимального у поточний момент часу експлуатаційного режиму, а тактичний – формування управління параметрами обробки на поточному режимі.

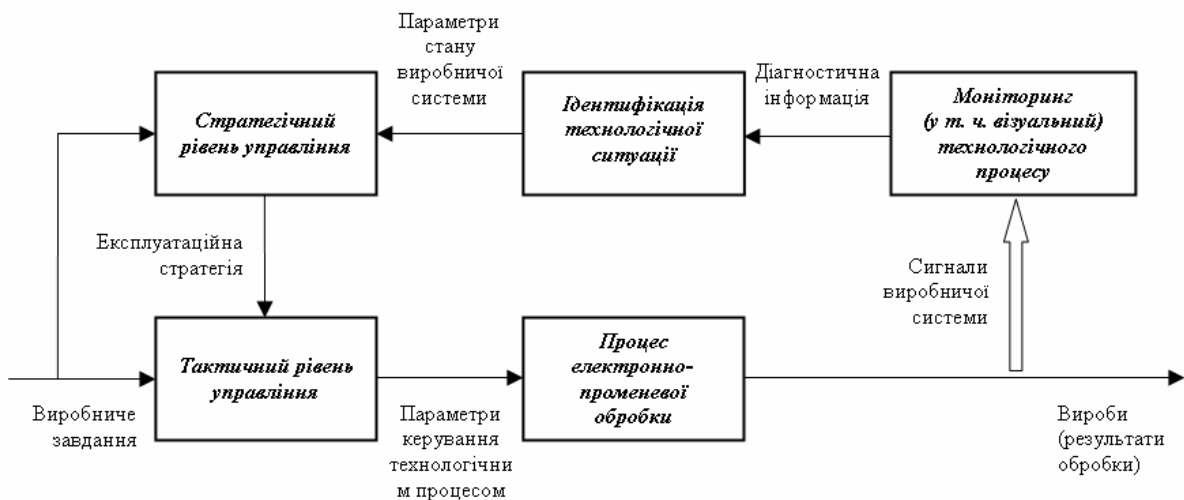


Рис. 3. Структура інтелектуальної системи управління електронно-променевою обробкою

Методологічне та алгоритмічне забезпечення запропонованої концепції розглянуто у [10; 15]. На стратегічному рівні поточна стратегія інтелектуального модуля у виробничому середовищі формується на основі економічних показників оцінки ефективності його експлуатації засобами прогнозування та оптимізації. Для прогнозування стану виробничої системи запропоновано проводити уза-

гальнення моніторингових даних з використанням понятійного апарату теорії надійності [15; 16]. Формування оцінок надійності та поточні оцінки відповідності стану системи прогнозним показникам виконується за даними моніторингу технологічно значимих параметрів технологічного процесу, які характеризують інструментальні засоби, об'єкт обробки, технологічне середовище та їхню взаємодію.

Прийняття рішення про зміну стратегії приймається на основі критеріальних оцінок, які визначаються при застосуванні наступних критеріїв відбору: критерію песимізму (Уолда), критерію надзвичайного оптимізму, критерію коефіцієнта оптимізму (Гурвіца), критерію сприятливого в середньому рішення (Лапласа), критерію жалкування (Севіджа) [17]. Наслідком зміни експлуатаційної стратегії може бути вибір одного з можливих режимів функціонування виробничої системи – альтернативного режиму ЕПО або зупинка процесу обробки, якщо буде отримана негативна оцінка можливих наслідків проведення технологічної операції.

Тактичний рівень управління використовує модель процесу ЕПО оптичних матеріалів, в основу якої покладено рівняння задачі теплопровідності. Вона описується комплексом одно-, дво- і тривимірних нелінійних математичних моделей, серед яких моделі теплового впливу стрічкового електронного променя на вироби з оптичних матеріалів різної форми і розмірів, модель обробки поверхневого шару матеріалу стрічковим електронним потоком з урахуванням явища випаровування частки матеріалу розплаву у вакуум від термічного впливу потоку [10]. Для даної моделі відхилення від експериментальних даних не перевищує 1,4%.

Запропонована модель управління дозволяє більшою мірою задіяти потенціал гнучкості систем ЕПО та підвищити їх експлуатаційну ефективність [15, 16] за рахунок впровадження інтелектуальних процедур аналізу виробничих ситуацій і прийняття рішень щодо вибору найбільш продуктивної стратегії, формування адекватного управління конкретними технологічними операціями [10]. Даний підхід забезпечує комплексне використання даних про стан усіх компонентів виробничої системи як на стратегічному, так і на тактичному рівні управління. Впровадження запропонованого методу потребує належного ресурсного забезпечення інформаційних модулів систем ЕПО для виконання процесів формування та відпрацювання керуючих впливів у реальному масштабі часу, однак проведені дослідження [18] дозволили виявити ефективні засоби та середовища підтримки розробленої концепції для вбудованих систем.

Таким чином, запровадження методів інтелектуального управління дозволяє використати потенціальні можливості систем ЕПО

та мінімізувати частку бракованих виробів з досягненням більшої прибутковості виробництва за рахунок:

- вибору на кожному інтервалі експлуатаційного періоду оптимальної експлуатаційної стратегії;

- оптимального вибору налаштувань тактичного рівня відповідно до обраної експлуатаційної стратегії та прогнозу стану виробничої системи;

- мінімізації числа незавершених технологічних операцій за рахунок переходу на альтернативний режим обробки при зниженні ресурсних показників системи;

- недопущення початку наступного циклу обробки при наявності негативного прогнозу щодо його завершення;

- постійного моніторингу та експрес-діагностики процесу ЕПО;

- прогнозованості переходу системи ЕПО у граничний стан та, за рахунок цього, підвищення коефіцієнту готовності системи внаслідок підготовленості та адресності сервісних операцій.

Перспективою дослідження є проведення імітаційних та натурних експериментів для з'ясування показників ефективності та меж застосовності запропонованого підходу для конкретної номенклатури виробів і конфігурації технічних засобів.

**Висновки.** Запропоновані зміни структури керування технологічним процесом з розділенням прийняття рішень на тактичному та стратегічному рівнях управління, разом із застосуванням засобів технічного зору та методів візуалізації, надають спосіб використання потенціалу існуючих систем ЕПО щодо адаптації до зміни зовнішніх і внутрішніх умов роботи, Отримані результати дозволили:

1. Вперше запровадити у технологію ЕПО інтелектуальні методи управління як засіб покращення якості виконання окремих технологічних операцій.

2. Забезпечити можливість переходу з одного технологічного режиму ЕПО на інший, технічно доцільний за ресурсними можливостями системи, без суттєвої зупинки процесу.

3. Створити передумови для вдосконалення технології ЕПО шляхом переходу на більш актуальний рівень – рівень мікро- і нанообробки оптичних матеріалів електронним потоком стрічкової форми.

## Список літератури

1. Дудко Г. В. Проблема формирования особо чистых и бездефектных поверхностей / Г. В. Дудко, В. Н. Лисоченко // *Материалы краткосрочного семинара*. – Ленинград, 1985. – С. 13–16.
2. Кравченко А. А. О формировании предельно гладких поверхностей стекол / А. А. Кравченко, Ю. Н. Лохов, Д. И. Чередниченко // *Физика и химия стекла*. – 1990. – Т. 16, № 6. – С. 923–927.
3. Электронно-лучевая обработка фотокатодных стекол / [Г. В. Дудко, А. А. Кравченко, Д. И. Чередниченко и др.] // *Электронная техника*. – Вып. 1. – М. : Электроника, 1989. – С. 60–63. – (Серия 4. «Электрорадиодные и газоразрядные приборы»).
4. Ващенко В. А. Высокотемпературные технологические процессы взаимодействия концентрированных источников энергии с материалами : [монография] / В. А. Ващенко. – Черкассы : ВИНТИ, 1994. – № 35-Х94. – 493 с.
5. Kanashevich G. V. Cooling of plates from optical glass after electronic micro-treatment / G. V. Kanashevich // *Электронная обработка материалов (Кишинев)*. – 2005. – № 4 (234). – С. 79–83.
6. Kanashevich G. V. Micro-treatment of surfaces of plates made of optical glass with a low-power electronic stream of a band form / G. V. Kanashevich // *The 7th World Congress on Recovery, Recycling and Reintegration & China International 3R Exhibition, Beijing (China, 25–29 Sept. 2005)*. – P. 7.
7. Канашевич Г. В. Превращения в поверхностном слое оптического стекла и фотопластин из силикатного стекла от действия низкоэнергетического электронного потока / Г. В. Канашевич // *Нано- и микросистемная техника : ежемесячный междисциплинар. и прикл. науч.-техн. журнал (Россия)*. – 2008. – № 10. – С. 28–30. – (Рубрика : *Материаловедческие и технологические основы МНСТ*).
8. Гибкие производственные системы / Н. П. Меткин, М. С. Лапин, С. А. Клейменов, В. М. Критский. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 309 с.
9. Литвинов В. В. Модельно-ориентированное управление как стратегия функционирования интеллектуальных производственных систем / В. В. Литвинов, В. В. Казимир // *Математичні машини і системи*. – 2004. – № 4. – С. 143–156.
10. Канашевич Г. В. Алгоритм керування якістю поверхневого шару оптичних матеріалів при електронно-променевої мікрообробці / Г. В. Канашевич, А. І. Щерба, І. В. Дробот // *Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Вип. 27. – Харків, 2012. – С. 231–239. – (Тематичний випуск «Математичне моделювання в техніці та технологіях»).
11. Intelligent manufacturing systems [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.ims.org/>.
12. Gamboa-Revilla J. Intelligent manufacturing systems: a methodology for technological migration [Електронний ресурс] / Jorge Gamboa-Revilla, Miguel Ramirez-Cadena. – Режим доступу : [www.iaeng.org/publication/WCE2008/WCE2008\\_pp1257-1262.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2008/WCE2008_pp1257-1262.pdf)
13. Информационные системы и технологии в экономике и управлении : учебник для бакалавров / [под ред. проф. В. В. Трофимова]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во Юрайт, 2012. – 521 с. – (Серия : Бакалавр).
14. Ярмілко А. В. Експрес-діагностика виробничих процесів за результатами відеоспостережень / А. В. Ярмілко, А. Ю. Небиліця // *Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2011 : матеріали Шостої наук.-практ. конф. з міжнар. участю*. – Чернівці : ФОП Васюта В. В., 2011. – С. 209–212.
15. Ярмілко А. В. Формування стратегії керування технологічним модулем за даними поточного моніторингу та експрес-діагностики. / А. В. Ярмілко // *Математичні машини і системи*. – 2013. – № 1. – С. 102–110.
16. Ярмілко А. В. Дослідження ефективності системи управління зі зміною стратегій / А. В. Ярмілко, Д. С. Приходько // *Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського*. – 2013. – № 4 (81). – С. 77–81.
17. Івченко І. Ю. Моделювання економічних ризиків і ризикових ситуацій : навч. посіб. / І. Ю. Івченко. – К. : Центр учбової літератури, 2007. – 344 с.
18. Ярмілко А. В. Вибір програмної платформи як засіб підвищення ресурсної ефективності

та динамічних характеристик вбудованих систем реального часу / А. В. Ярмілко, М. Ю. Багінський, Д. С. Приходько // Science and education a new dimension: natural and technical sciences (Budapest, Hungary). – 2013. – Issue 15, № 1 (2). – P. 154–157.

### References

- Dudko, G. V. and Lisochenko, V. N. (1985) The problem of formation of very pure and defect-free surfaces. *Materialy kratkosrochnogo seminara*. Leningrad, pp. 13–16 [in Russian].
- Kravchenko, A. A., Lokhov, Yu. N. and Cherednichenko, D. I. (1990) On the formation of extremely smooth surfaces of glass. *Fizika i khimiia stekla*, 16 (6), pp. 923–927 [in Russian].
- Dudko, G. V., Kravchenko, A. A., Cherednichenko D. I. et al. (1989) Electron beam processing of photo-cathodic glasses. *Elektronnaia tekhnika*, (1), Moscow : Elektronika, pp. 60–63 [in Russian].
- Vashchenko, V. A. (1994) High-temperature processes of interaction of concentrated energy materials. Cherkasy: VINITI, № 35-X94, 493 p. [in Russian].
- Kanashevich, G. V. (2005) Cooling of plates from optical glass after electronic micro-treatment. *Elektronnaya obrabotka materialov*, 4 (234), pp. 79–83.
- Kanashevich, G. V. (2005) Micro-treatment of surfaces of plates made of optical glass with a low-power electronic stream of a band form. *The 7th World Congress on Recovery, Recycling and Reintegration & China International 3R Exhibition*, Beijing, China, 25–29 Sept. 2005, p. 7.
- Kanashevich, G. V. (2008) Transformations in surface layer of optical glass and photographic plates from silicate glass from the action of low-energy electron flux. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika: montly interbrunch theor. and appl. scient.-techn.journal*, (10), pp. 28–30 [in Russian].
- Metkin, N. P., Lapin, M. S., Klyemenov, S. A. and Kritskii, V. M. (1989) Flexible manufacturing systems. Moscow : *Izd-vo standartov*, 309 p. [in Russian].
- Litvinov, V. V. and Kazymyr, V. V. (2004) Model-oriented control as strategy of functioning of intelligent manufacturing systems. *Matematychni mashyny i systemy*, 4, pp. 143–156 [in Russian].
- Kanashevich, G. V., Shcherba, A. I. and Drobot, I. V. (2012) An algorithm for control of quality surface layer of optical materials with cathode-ray-micromachining. *Visnyk natsional'noho tekhnichnoho universytetu «Kharkivs'kyi politekhnichnyi instytut»*, (27), pp. 231–239 [in Ukrainian].
- Intelligent manufacturing systems [Internet]. Available from : <<http://www.ims.org/>>
- Gamboa-Revilla Jorge and Ramirez-Cadena Miguel. Intelligent manufacturing systems: a methodology for technological migration [Internet]. Available from: <[http://www.iaeng.org/publication/WCE2008/WCE2008\\_pp1257-1262.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2008/WCE2008_pp1257-1262.pdf)>
- Information systems and technologies in economics and management (2012). In: V. V. Trofimov (Ed.). 3<sup>rd</sup> ed. Moscow: Izd-vo Yurajt, 521 p. [in Russian].
- Yarmilko, A. V. and Nebylytsia, A. Yu. (2011) Rapid diagnosis of manufacturing processes as a result of video surveillance. *Matematychni ta imitacyne modelyuvannya system MODS'2011: materials of the 6th scient.-pract. conf. with internat. participation*. Chernihiv, pp. 209–212 [in Ukrainian].
- Yarmilko, A. V. (2013) The formation of the strategy of technological unit control based on current monitoring and rapid diagnosis. *Matematychni mashyny i systemy*, (1), pp. 102–110 [in Ukrainian].
- Yarmilko, A. V. and Prykhodko, D. S. (2013) The investigation of efficiency of control system with strategies changing. *Visnyk Kremenchukskoho natsionalnoho universytetu im. Mykhaila Ostrohradskoho*, 4 (81), pp.77–81.
- Ivchenko, I. Yu. (2007) Simulation of economic risks and risk management. Kyiv: Tsentr uchbovoyi literatury, 344 p. [in Ukrainian].
- Yarmilko, A. V., Bahinskyi, M. Yu. and Prykhodko, D. S. (2013) The choice of software platform as a means of increasing resource efficiency and dynamic characteristics in embedded real-time control systems. *Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences*, issue 15, 1 (2), pp. 154–157. Budapest, Hungary [in Ukrainian].

**A. V. Yarmilko**, *senior lecturer*,  
Cherkasy National University named after Bohdan Khmelnytsky  
Shevchenko blvd, 81, Cherkasy, 18031, Ukraine  
a-ja@ukr.net

**V. V. Hrabovskyi**, *post-graduate student*,  
The Institute of Mathematical Machines and Systems Problems  
National Academy of Science of Ukraine  
Academician Glushkov ave., 42, Kyiv, 03680, Ukraine  
v-grabovskiy@mail.ru

**O. G. Babak**, *student*,

**A. M. Pleshkan**, *student*  
Cherkasy State Technological University  
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine  
poofeer@mail.ru

### INTELLECTUALIZATION OF THE PROCESS OF ELECTRON BEAM MACHINING OF OPTICAL MATERIALS

*In the article the concept of intellectualization of controlling of electron beam machining of optical materials is disclosed. Technological features are specified and the system of quality indexes is presented. The article is devoted to the technology of visual controlling of quality parameters of optical components as to the effect of birefringence in polarized light. The authors have analyzed general system properties of the equipment and technology of electron beam machining of optical materials as components of intelligent control system. Two-tier structure of control system is offered. Herewith, the level of strategic management ensures the choice of optimal operating mode in current time, while tactical level provides the formation of processing control parameters in this mode. The possibility of applying the intelligent control system in electron beam machining of optical materials of machine vision and imaging techniques is considered. Suggestions on supporting decision-making at strategic and tactical levels are made. In conclusion, the authors have listed the factors of improving product quality when applying the intelligent process control.*

**Keywords:** *electron beam machining, optical materials, surface layer, control strategy, imaging technique, adaptive control.*

*Рецензенти: С. В. Голуб, д.т.н., професор,  
В. І. Осипенко, д.т.н., професор*