13. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Клюс. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1987. – 288 с.

14. Коваль О.М. Процес розвитку та поширення пожежі в приміщеннях будівель деревообробних підприємств / О.М. Коваль // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2013. – № 22. – С. 121-127.

15. ДСТУ Б В.1.1-18:2007. Метод натурних вогневих випробувань. Загальні вимоги. – К. : Вид-во "Мінрегіонбуд України", 2007. – 13 с.

Надійшла до редакції 29.08.2016 р.

Коваль А.М. **Экспериментальное исследование продолжительности локализации и тушения пожара на открытых складах пиломатериалов штабельного хранения**

Для определения продолжительности локализации и тушения пожаров на открытых складах пиломатериалов штабельного хранения проведены экспериментальные исследования этого процесса. Исследования выполнены с использованием дробного факторного эксперимента. Продолжительность локализации и тушения пожара исследована в зависимости от площади локализации, площади пожара и количества пожарных стволов А и Б. Полученные эмпирические модели адекватны результатам эксперимента и могут использоваться на практике пожарно-спасательными подразделениями ГСЧС.

Ключевые слова: штабель пиломатериалов, экспериментальные исследования, математическая модель, процесс локализации, процесс тушения, пожарный ствол.

Koval O.M. **Experimental Study Duration Localize And Fight Fires on Open Storage Timber Stacking Storage**

To determine the duration of containment and extinguishing fires in open storage warehouse stacking lumber pilot the Exploration of the process were conducted. Studies were carried out using a fractional factorial experiment. Duration contain and extinguish the fire were studied as a functioning on the localization of the area, fire area and the number of fire nozzles A and B. These empirical models are adequate and the results of the experiment can be used subsequent to the practice of fire-rescue units GSCHS.

Keywords: pile of lumber, experimental studies, mathematical model, the localization process, the process of extinguishing, fire barrel.

УДК 004.93

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ДЕТЕКТУВАННЯ ВОГНЮ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

О.П. Максимів[1], Т.Є. Рак[2], Д.Д. Пелешко[3]

Здійснено аналітичний огляд сучасних методів детектування вогню за допомогою засобів комп'ютерного зору. Внаслідок проведеної роботи виявлено, що на сьогодні проблема розроблення системи детектування полум'я є актуальною та потребує подальших досліджень. Представлено порівняльний аналіз ефективності роботи окремо взятих методів та відзначено проблематичні моменти, які зумовлюють зниження якості детектування. Наведено перспективні напрямки розвитку алгоритмів, які, на нашу думку, дають змогу значною мірою покращити ефективність системи детектування полум'я.

Ключові слова: детектування полум'я, комп'ютерний зір, відеоспостереження, автоматизація.

[1] ад'юнкт О.П. Максимів – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності;
[2] доц. Т.Є. Рак, д-р техн. наук – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності;
[3] проф. Д.Д. Пелешко, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

Вступ. Незважаючи на загальний технічний прогрес, в Україні відбувається значне зростання кількості пожеж і надзвичайних ситуацій (НС). Щорічно тільки показник завданих матеріальних збитків збільшується в середньому на 6 % **[1]**, що зумовлює пошуки досконаліших шляхів реагування на такі загрози.

Протягом останніх років, з метою зменшення збитків, які можуть бути спричинені пожежею, чимало зусиль спрямовано на встановлення систем пожежної сигналізації, пожежних сповіщувачів (димових, теплових тощо). Проте їх використання супроводжується значними матеріальними затратами, а їх вузька специфіка дії нерідко зумовлює ігнорування людьми вимог правил пожежної безпеки про їх встановлення. При цьому, паралельно, на підприємствах, в установах і житлових приміщеннях останніми роками активно впроваджують різноманітні охоронні системи, основою яких є камери відеоспостереження. Як правило, такі системи використовують для пасивного спостереження на моніторі за об'єктами в зоні уваги з можливістю автоматичного детектування руху в полі зору камери. Зважаючи на розвиток методів та технологій машинного зору і можливостей сучасних відеокамер, актуальною та перспективною є задача використання систем відеоспостереження у контексті розширення кола прикладних задач, які можна вирішувати завдяки інтелектуальному аналізу відеопотоків. Наприклад, розширення систем відеоспостереження модулями автоматизованого виявлення та визначення параметрів пожеж чи загорянь.

Постановка завдання. Проаналізувати можливості та визначити перспективи використання систем відеоспостереження для автоматичного чи автоматизованого детектування полум'я у пасивних системах відеоспостереження.

Результати цього аналізу повинні стати основою синтезу нових методів чи технологій, побудованих на принципах комп'ютерного зору, які характеризувались би високою точністю ідентифікації об'єктів уваги в широкому робочому діапазоні та стійкістю до негативного впливу різноманітного зашумлення.

Загальна характеристика методів детектування в роботехнічних системах комп'ютерного зору. Протягом останніх років спостерігається значний розвиток існуючих підходів у сфері комп'ютерного зору та розроблення нових методів для детектування об'єктів на зображенні. Проте, незважаючи на доволі високий рівень якості розпізнавання об'єктів у таких системах, за певних умов спостерігається ряд некоректних спрацювань детектора, що в контексті їх використання в системі безпеки життєдіяльності, не є допустимим.

На сьогодні виділяють чотири основних підходи до автоматичного виявлення полум'я та диму у відеопотоці **[2]**. Це – колірна сегментація полум'я, виявлення руху на зображенні, аналіз просторових змін яскравості та аналіз часових змін меж об'єкта. Відповідно до цих підходів спробуємо проаналізувати існуючі напрацювання вчених у задачах детектування полум'я.

1. Колірна сегментація. Загальним підходом до виявлення вогню на зображенні є використання різноманітних колірних моделей. Для цього виконується інтерактивна сегментація області зображення, в області спостереження полум'я та, відповідно до отриманих статистичних розподілів пікселів, формуються граничні умови, в межах яких визначається належність пікселя до шуканої області.

Один із основних методів, який ґрунтується на принципах колірної сегментації, наведено в [11], де запропоновано використання колірної моделі *RGB* для визначення наявності полум'я на зображенні. Проте, в подальшому, показано, що можливостей моделі *RGB* є недостатньо для забезпечення надійності детектування полум'я, та, як наслідок, виникає низка напрацювань щодо використання інших колірних моделей. Так, у роботах [8-10] запропоновано використання колірної моделі *YCbCr*, у роботі [18] – моделі HSV, а у [2, 7] – CIE *L·a·b*.

Сучасний розвиток методів, побудованих на колірній сегментації, передбачає використання кількох моделей у послідовності алгоритмів, розроблених за цими методами. Так, у роботі [13] запропоновано комбінацію із кількох колірних моделей. Такий підхід дає змогу порівняти ефективність різноманітних колірних моделей. Отримані результати наведено в табл. 1, де *HSI*, *YCbCr* та *RGB* позначено як *H*, *Y* та *R* відповідно; *HYR* – комбінація трьох моделей; *HY* – комбінація *H* та *Y*.

Табл. 1. Оцінювання колірних моделей

Умова	К-сть зображень	*H*	*Y*	*R*	*HYR*	*HY*
Місто	124	0,78	0,51	0,19	0,81	0,83
Сільська місцевість	73	0,73	0,57	0,17	0,77	0,79
Всередині приміщень	20	0,36	0,47	0,12	0,43	0,46
Ніч	21	0,60	0,61	0,06	0,64	0,64
Загалом	217	0,74	0,54	0,15	0,78	0,79

Наведені результати дають змогу констатувати, що використання колірних моделей є недостатнім для побудови ефективної системи детектування полум'я та вимагає її доповнення іншими характеристиками такими як рух, контури тощо. Для прикладу, використання методу віднімання фону в роботі [11] дозволило підняти показник ефективності роботи системи до 92,8 %.

2. Виявлення руху. Для виявлення руху у відеопотоці широко використовують методи обчислення оптичного потоку. Так, наприклад у [16], метод ідентифікації передбачає використання оптичного потоку та нейронної мережі зворотного поширення для обчислення особливостей руху полум'я на основі таких статистичних характеристик: середнє значення швидкості та швидкість зміни оптичного потоку, а також його напрямку. Проте Вважається, що використання методу оптичного потоку є процесом, який потребує використання значних комп'ютерних ресурсів, що певною мірою ускладнить процес інтеграції таких систем на реальних об'єктах.

Дещо інший підхід запропоновано у [22]. За цим підходом запропоновано ідентифікувати полум'я за допомогою трьох послідовних етапів: виділення регіону для аналізу, класифікація вогню на основі колірно-текстурних ознак та часової ідентифікації. Проте, знову ж враховуючи різноманітність процесу горіння, на наш погляд, урахування усіх можливостей може призвести до перенавчання класифікатора та, як наслідок, значного зниження ефективності.

3. Аналіз просторових змін яскравості. У роботі [5] запропоновано комбінований метод ідентифікації вогню, який ґрунтується на використанні колірних ознак та текстури полум'я. Проте колірне чи текстурне розмежування є класифікатором низького рівня, оскільки загальновідомо, що полум'я може бути різного кольору, залежно від температури та речовини, що горить.

Aung Soe та Zhang Xianku [20] використовують статистичні характеристики зображення для детектування пожеж світло-синього кольору (пожежі, в яких можуть бути домішки газу). Для цього, регіони, в яких можлива наявність полум'я, визначаються на основі техніки ROI (регіону інтересів). Проте цей алгоритм можна використовувати тільки для пожеж з домішками газу або інших речовин, які спричиняють світло-синій колір полум'я.

Цікавою видається робота [21] авторів Marcos Bedo, Gustavo Blanco та ін. Передусім, у роботі передбачається використання функції схожості зображення. Якість детектування розробленої системи становить 0,853 %, що є доволі низьким показником порівняно з показниками ефективності інших систем.

4. Аналіз часових змін границь об'єкту. N. Ahuja та L. Che-bin [11] пропонують алгоритм детектування полум'я, який ґрунтується на використанні спектральної, просторової та часової характеристик вогню. Проте можливе виникнення ряду помилок під час просторового аналізу, що спричиняє зашумлення зображення та, як наслідок, погіршує ефективність роботи системи детектування. Відповідно, цей алгоритм не дає змоги успішно ідентифікувати полум'я невеликих розмірів або таке, що знаходиться на значній відстані.

Потрібно згадати також роботу [10], в якій автори стверджують, що розроблений алгоритм детектування полум'я на зображенні дає змогу його ідентифікувати з показником 99 % правильності. Незважаючи на високий показник надійності системи, вона має значний недолік – високий показник хибних спрацювань, які виникають внаслідок зміни освітлення, що потребує значних зусиль щодо налаштування параметрів таких змін під кожен об'єкт окремо.

Табл. 2. Ефективність детектування полум'я найбільш вживаними методами згідно зі значеннями, вказаними авторами

№ з/п	Назва роботи	Ефективність детектування
1	Lab Color Space Model with Optical Flow Estimation for Fire Detection in Videos	99,88 % True
2	BoWFire: Detection of Fire in Still Images by Integrating Pixel Color and Texture Analysis	79,00 % True 15 % False
3	Fire and smoke detection without sensors: image processing based approach	99,00 % True 4,5 % False
4	Automatic Fire Detection in Video Sequences	97 % True 78.39 % False
5	Fire pixel classification using fuzzy logic and statistical color model	99,00 % True 9,5 % False
6	Vision based fire detection	99,9 % True 0 % False
7	Fire Detection in Video Sequences Using Statistical Color Model	78.5 % True 28,21 % False
8	A Vision-based Approach to Fire detection	93.1 % True
9	A fire and flame detecting method based on video	97 % True 0 % False
10	Techniques for effective and efficient fire detection from social media images	85 % True
11	Towards a Solid Solution of Real-time Fire and Flame Detection	93 % True
12	Fire detection based on vision sensor and support vector machines	86,1 % True 0,4 % False

Узагальнюючи зазначене вище, вважаємо за доцільне провести порівняльний аналіз ефективності цих робіт. Так, автори розглянутих напрацювань зазначають доволі високі показники ефективності роботи їх системи (табл. 2), де True – правильність спрацювання, а False – відсоток неправильних спрацювань.

Проте потрібно розуміти, що недостатня вибірка для тестування або їх мала різноманітність, нерідко призводить до значно завищених показників ефективності. Так, у роботі **[**5**]**, внаслідок проведеного аналізу на власно сформованій тестовій вибірці, отримано кардинально інші результати порівняно зі заявленими авторами (рис.).

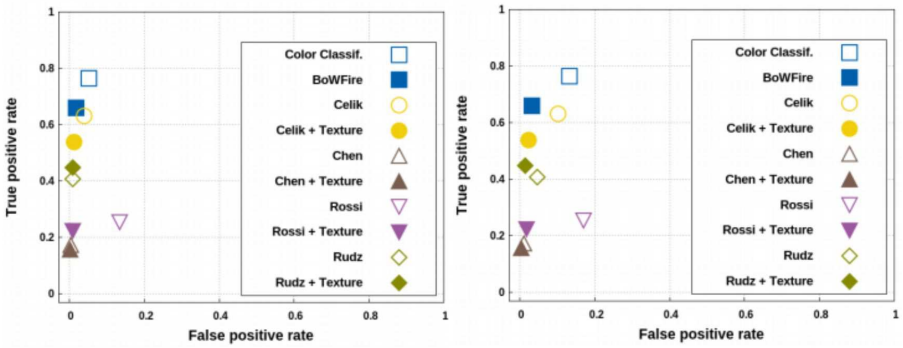

Рис. ROC-крива ефективності детектування на вибірці з пожежами (зліва) та з об'єктами, які за зовнішніми ознаками нагадують полум'я (справа) [5]

Як можемо спостерігати, відповідно до проведеного аналізу, надзвичайно низькі показники отримали методи авторів T. Chen **[**12**]** (основна ідея якого ґрунтується на використанні *R* компонента для вимірювання його інтенсивності та насиченості) та L. Rossi **[**19**]** (яка ґрунтується на визначенні геометричних показників полум'я). З позитивного боку, потрібно звичайно ж відзначити систему BoWFire **[**5**]**, яка окрім колірної класифікації, охоплює також текстурну, що дало змогу мінімізувати кількість неправильних спрацювань, метод T. Celik, в якому запропоновано використовувати колірну модель *YCbCr* **[**9**]**.

Звичайно ж, неможливо не згадати про роботу **[**4**]**, в якій було проведено порівняльний аналіз основних методів детектування полум'я. Відповідно до набору запропонованих авторами методів детектування полум'я було визначено показники правильності детектування. Так, табл. 3 відображає правильність класифікації пікселів, які містять вогонь (True positive) та без вогню (True negative). Для покращення сприйняття ця таблиця представлена у відтінках сірого, де білий колір відповідає найкращому результату.

Аналізуючи табл. 3, треба звернути увагу на роботи **[**17**]** (Гаусове згладжування колірної гістограми та подальше використання морфологічних операцій) та **[**19**]** (визначення геометричних показників полум'я), які отримали доволі високі показники правильності класифікації. Найкращий результат отримав запропонований авторами набір правил. Перший метод (r_{30}) ґрунтується на використанні колірних моделей L*a*b та принципу "більшості голосів". Другий (r_{31}) використовує колірну модель *RGB*, яка, своєю чергою, обробляється методами

машинного навчання, а саме логічною регресією **[**4**]**. Проте у представлених авторами наборах правил, все ще виникають певні труднощі під час класифікації зображень, в яких наявний дим.

Табл. 3. Оцінка ефективності методів детектування полум'я [4]

		Phillips	Chen 2004				Horng			Celik *RGB*			Ko	Celik *YCbCr*							Celik *L*a*b**				Chen 2010		Rossi		New rules	
		r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	r_9	r_{10}	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}	r_{16}	r_{17}	r_{18}	r_{19}	r_{20}	r_{21}	r_{22}	r_{23}	r_{24}	r_{25}	r_{26}	r_{27}	r_{28}	r_{29}	r_{30}	r_{31}
Red	Smoke																														
	No Smoke																														
Orange	Smoke																														
	No Smoke																														
Yellow	Smoke																														
	No Smoke																														
Low intensity																															
Medium intensity																															
High intensity																															
All	TP																														
	TN																														

Висновок. Проведений аналіз наукових результатів в області детектування полум'я дав змогу констатувати, що незважаючи на існуючі результати в області використання роботизованих систем технічного зору, для розв'язання задачі детектування вогню і визначення параметрів загоряння/пожежі, які б характеризувалася високим рівнем ефективності за невеликої затратності комп'ютерних ресурсів, не існує.

Очевидно, що подальша інтелектуалізація систем технічного зору на базі існуючих систем відеоспостереження дає змогу істотно розширити спектр функціональних засобів забезпечення пожежної безпеки за мінімальних матеріальних витрат. Мінімізації витрат у цьому випадку досягається завдяки використанню існуючих інфраструктур систем відеоспостерження

Треба наголосити на ще одній проблемі – це оцінка існуючих методів детектування полум'я. Існуючі бази даних набори зображень, беззаперечно, дають змогу оцінити якість роботи тільки окремих видів методів, наприклад колірних моделей, контурного методу тощо. Проте низка методів не можуть проявити свою ефективність на статичних наборах зображеннях. Саме тому потрібно створити базу відеоданих, які характеризувалася б не тільки різноманітною роздільною здатністю, а й значним набором різноманітних процесів виникнення та розповсюдження полум'я та об'єктів, які за зовнішніми ознаками нагадують вогонь.

Проведений аналіз методів детектування вогню дав змогу виділити низку підходів, які, за умов їх комплексного використання, повинні забезпечити високий рівень детектування, з одного боку, та високу швидкодію, з іншого. Так, для здійснення колірної сегментації найбільш перспективним виглядає використання колірної моделі YCrCb, яка дасть змогу встановити потрібні граничні межі яскравості, та, своєю чергою, виділити регіони, які за колірними ознаками нагадують вогонь.

Для зменшення часових затрат щодо виявлення рухомих об'єктів на зображенні запропоновано використання методів, які ґрунтуються на використанні часових різниць, а для уникнення можливих спотворень – використання морфологічних перетворень.

Література

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році. – 2015. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://mns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND_2014.pdf.
2. Бровко Н. Анализ методов обработки последовательностей видеоизображений в приложении к задаче раннего обнаружения пожаров / Н. Бровко, Р. Богуш // Вестник Полоцкого государственного ун-та : сб. науч. тр. – Сер.: С. – 2011. – С. 42-50.
3. Arjun S. Lab Color Space Model with Optical Flow Estimation for Fire Detection in Videos / S. Arjun, E. Vinoth // IOSR Journal of Computer Engineering, 2014. – Pp. 22-38.
4. Toulouse T. Automatic fire pixel detection using image processing: A comparative analysis of Rule-based and Machine Learning-based methods / T. Toulouse, L. Rossi, T. Celik, M. Akhloufi // Signal, Image and Video Processing manuscript, 2015. – Pp. 1-8.
5. Chino D. BoWFire: Detection of Fire in Still Images by Integrating Pixel Color and Texture Analysis / D. Chino, L. Avalhais, R. Jose, T. Agma // Proceedings of the 28th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images, 2015. – Pp. 95-102.
6. Celik T. Automatic Fire Detection in Video Sequences / T. Celik, H. Demirel // European Signal Processing Conference. – 2006. – № 2. – Pp. 1-5.
7. Celik T. Fast and efficient method for fire detection using image processing / T. Celik // ETRI journal. – 2010. – № 6. – Pp. 881-890.
8. Celik T. Fire and smoke detection without sensors: image processing based approach / T. Celik, H. Ozkaramanli, H. Demirel // 15th European Signal processing conference, 2007. – Pp. 1794-1798.
9. Celik T. Fire detection in video sequences using a generic color model / T. Celik, H. Demirel // Fire Safety Journal. – 2009. – № 2. – С. 147-158.
10. Celik T. Fire pixel classification using fuzzy logic and statistical color model / T. Celik, H. Ozkaramanli, H. Demirel // Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. – Pp. 1205-1208.
11. Che-Bin L. Vision based fire detection / L. Che-Bin, N. Ahuja // Pattern Recognition, 2004. ICPR 2004. Proceedings of the 17th International Conference on. – 2004. – № 4. – Pp. 134-137.
12. Chen T. An early fire-detection method based on image processing / T. Chen, P. Wu, Y. Chiou // Image Processing, 2004. – Pp. 1707-1710.
13. Gomes P. A Vision-based Approach to Fire detection / P. Gomes, P. Santana, J. Barata // International Journal of Advanced Robotic Systems, 2014. – Pp. 107-114.
14. Jin H. A fire and flame detecting method based on video / H. Jin, R. Zhang // Machine Learning and Cybernetics, 2009. – Pp. 2347-2352.
15. Ko B. Fire detection based on vision sensor and support vector machines / B. Ko, K. Cheong, J. Nam // Fire Safety Journal. – 2009. – № 44. – Pp. 322-329.
16. Kurup A.R. Vision based fire flame detection system using optical flow features and artificial neural network / Anila R. Kurup // Int J Sci Res, 2012. – Pp. 2161-2168.
17. Philips W. Flame recognition in video / W. Philips, M. Shah, N. Lobo // Pattern Recognition Letters. – 2002. – № 23. – Pp. 319-327.
18. Qi X. A Computer Vision-Based Method for Fire Detection in Color Videos / X. Qi, J. Ebert // International journal of imaging. – 2009. – № 9. – Pp. 22-34.
19. Rossi L. On the use of stereovision to develop a novel instrumentation system to extract geometric fire fronts characteristics / L. Rossi, M. Akhloufi, Y. Tison // Fire Safety Journal. – 2011. – № 46. – Pp. 9-20.
20. Soe A. Fire detection by static image characteristics of the light blue flame using roi-based color intensity composition detection algorithm / A. Soe, X. Zhang // ICIC Express Letters. – 2011. – № 12. – Pp. 4479-4486.
21. Bedo M. Techniques for effective and efficient fire detection from social media images / M. Bedo, G. Blanco, W. Oliveira та ін. // International Conference on Enterprise Information Systems, 2015. – Pp. 34-45.
22. Bo J. Towards a Solid Solution of Real-time Fire and Flame Detection / J. Bo, L. Yongyi, L. Xiying, L. Liang // Multimedia Tools and Applications. – 2015. – № 3. – Pp. 689-705.

Надійшла до редакції 21.06.2016 р.

Максымив А.П., Рак Т.Е., Пелешко Д.Д. **Аналитический обзор методов детектирования огня с помощью средств компьютерного зрения**

Осуществлен аналитический обзор современных методов детектирования огня с помощью средств компьютерного зрения. В результате проведенной работы выявлено, что на сегодняшний день проблема разработки системы детектирования пламени актуальна и требует проведения дальнейших исследований. Представлен сравнительный анализ эффективности работы отдельно взятых методов и отмечены проблематичные моменты, которые вызывают снижение качества детектирования. Отмечены перспективные направления развития алгоритмов, которые, по нашему мнению, позволят в значительной степени повысить эффективность системы детектирования пламени.

Ключевые слова: детектирование пламени, компьютерное зрение, видеонаблюдение, автоматизация.

Maksymiv O.P., Rak T.E., Peleshko D.D. **The Analytical Review of Fire Detecting Method by Using Computer Vision**

The paper made an analytical review of modern fire detection methods by means of computer vision. The results of this work revealed that despite a number of publications in this field, today the problem of developing a flame detection system is urgent and requires further research. This paper presents a comparative analysis of the individual methods efficiency and marked problematic moments that cause reduced quality of detection. Noted the perspective directions of algorithms, which we believe will greatly improve the efficiency of detecting flames.

Keywords: flame detection, computer vision, video surveillance, automation.

УДК 004.[4+896]

ПРОГРАМНА МОДЕЛЬ ПІДСИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНОЮ РОБОТОТЕХНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ

К.В. Матвійчук[1], В.М. Теслюк[2], А.Я. Зелінський[3]

Описано особливості розроблення програмного забезпечення підсистеми віддаленого керування робототехнічною системою (РТС). Побудовано UML діаграму прецедентів, за допомогою якої відображено основні завдання, які виконуватиме РТС у процесі функціонування. Для реалізації ПЗ обрано клієнт-серверну архітектуру. Побудовано UML діаграми діяльностей для клієнтської та серверної частин ПЗ, описано принципи їх взаємодії та представлено блок-схеми алгоритмів їх роботи. Розроблено та описано інтерфейс користувача, для клієнтської частини ПЗ, обґрунтовано вибір мови програмування для реалізації функціоналу системи.

Ключові слова: робототехнічна система, програмне забезпечення, UML-діаграма, клієнт-серверна архітектура.

Вступ. Автоматизація проектування та розроблення робототехнічних систем займає провідне місце серед сучасних напрямів розвитку світової науки. Адже дає змогу не тільки автоматизувати складні технологічні процеси та операції, але й замінити людину під час виконання важких і небезпечних робіт. Тому важливим завданням є процес проектування систем управління механізмами, технічного забезпечення, взаємодії цих складників, та розроблення спеціалізованого програмного забезпечення. Адже від цього етапу напряму залежить фун-

[1] аспір. К.В. Матвійчук – НУ "Львівська політехніка";
[2] проф. В.М. Теслюк, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";
[3] асист. А.Я. Зелінський, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"