

## ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МИТНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СКАНУВАННЯ ВАНТАЖІВ

**Т. В. САХНО**, доктор хімічних наук, старший науковий співробітник;

**Г. Д. КОБИЩАН**, кандидат технічних наук, доцент;

**Л. М. ГУБА**, кандидат технічних наук, доцент;

**Ю. О. БАСОВА**, кандидат технічних наук, доцент;

**А. О. СЕМЕНОВ**, кандидат фізико-математичних наук, доцент

(Вищий навчальний заклад Укоопспілки

«Полтавський університет економіки і торгівлі»)

**Анотація.** Метою статті є узагальнення та порівняльний аналіз сучасних досліджень у сфері обладнання для сканування для митниць, аеропортів і портів. Нині у світі 70 % пристроїв для сканування засновані на використанні рентгенівського випромінювання. Дане обладнання дозволяє суттєво скоротити час митного догляду вантажів, але має і значні недоліки. Тому актуальним є подальший пошук сучасних технологій, які б були основою для розробки високоефективних сучасних приладів для сканування, здатних виявляти під час митного огляду вантажів незаконні та небезпечні матеріали: вибухові речовини, хімічну зброю, наркотики, радіоактивні матеріали тощо. Такі переваги мюонної томографії, як висока проникаюча здатність, відсутність додаткового променевого навантаження на персонал, контрольовані товари та транспортні засоби, можливість побудови тривимірного зображення об'єкта контролю, виявлення контрабандних товарів, що знаходяться в екранованих контейнерах, роблять її перспективним методом інтроскопії під час митного контролю великогабаритних вантажів. Причиною, що на даний час унеможлиблює впровадження мюонних томографів як самостійного засобу митного контролю в практичну діяльність митних органів, є відсутність чутливого детектора мюонів, пошук якого і є метою подальших досліджень у даній сфері.

**Ключові слова:** митне обладнання, сканування вантажів, рентгенівські промені, мюони, мюонна томографія.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями.** Надзвичайно важливою та актуальною проблемою сьогодення на митниці є виявлення під час перетину кордону незаконних матеріалів: вибухові речовини, хімічна зброя, наркотики та радіоактивні матеріали у вигляді джерел випромінювання та забрудненого металургійного брухту. Заборонені матеріали стали головною загрозою для людини в сучасному суспільстві. Такі чинники, як різноманітність вибухонебезпечних та інших заборонених матеріалів, нетрадиційні підходи до їх пакування, мінливість місця проведення контролю та (переважно) низький тиск пари вибухових речовин надзвичайно ускладнюють їх виявлення в пунктах

перетину кордону та спонукають до розробки нового ефективного обладнання.

Переважна більшість сучасних методів обстеження вантажів засновані на використанні рентгенівського випромінювання, яке має обмеження специфічності матеріалу. Нині у світі 70 % пристроїв для сканування засновані на використанні рентгенівського випромінювання [1, 2]. Основною метою проведення рентгенівського контролю є інтроскопія об'єкта, тобто дослідження його внутрішньої структури без здійснення ручного огляду. Рентгенівська техніка встигла зарекомендувати себе як незамінний засіб здійснення оперативного неруйнівного митного контролю товарів, транспортних засобів, контейнерів, ручної поклажі та багажу, міжнародних поштових відправлень і т. п.

В Україні працюють рентгенівські сканери для вантажних транспортних засобів на пунктах пропуску в Ягодині, Кракові, Раві-Руській, Шегинях, Ужгороді, Чопі, Порубному. Стационарні сканери або системи для сканування стаціонарного типу – це спеціальне обладнання, призначене для виявлення товарів, що переміщуються прихованими серед інших товарів, задекларованих до переміщення. Розміщення сканерів для перевірки великогабаритних вантажів потребує технологічно-правильного облаштування та значних площадок, зокрема це габарити 35×75 або 50×30 м. Дані зі сканерів на пунктах пропуску передаються до центрального апарату Держмитслужби в електронному вигляді. Застосування даного обладнання значно скорочує час на здійс-

нення догляду – від декількох годин до 7–20 хв.

Сучасні вантажні перевезення характеризуються зростанням популярності контейнерних відправлень, що зумовлено міцною структурою контейнера та простотою його використання. Водночас вантажний контейнер для міжнародних перевезень може становити високий ризик для безпеки, оскільки він може використовуватися для контрабанди наркотиків, терористів, нелегальних іммігрантів, небезпечних матеріалів і вибухових речовин. Для зменшення потенційного ризику безпеки під час огляду контейнерів застосовують семиточковий інспекційний процес (рис. 1), при цьому вантажні контейнери спочатку перевіряються зовні, щоб переконатися у відсутності відхилень.

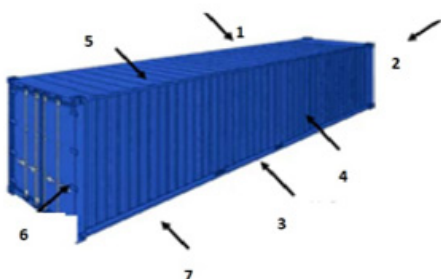


Рис. 1. Процес огляду контейнера з семи пунктів [3]:  
1 – ліва сторона; 2 – передня стінка; 3 – вздовж низу;  
4 – права сторона; 5 – верх; 6 – двері; 7 – низ

На рис. 2 показано процес перевірки вантажу під час використання рентгенівського

сканера на Закарпатській митниці.

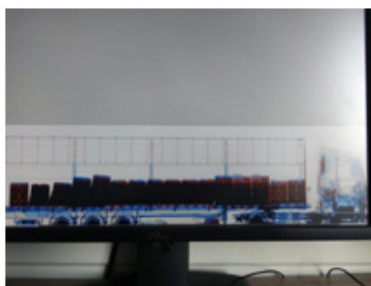


Рис. 2. Типовий процес перевірки вантажу під час використання рентгенівського сканера

Якщо під час зовнішнього огляду контейнерів знайдено подряпини, сліди від зварних швів, несанкціоновані заклепки, свіже мастило, свіжу фарбу, використання силікону, склопластикові клаптики або сліди речовин, що маскують запах, інспектор може увійти в контейнер і фізично відшукати будь-які незаконні речовини. Отже, справжньою дилемою інспекції контейнерів є визначення тонкої межі між достатнім рівнем інспекції безпеки контейнера та розумною величиною витрат і часу, пов'язаних з інспекцією. Використання одного або декількох інструментів інспекції вантажів: рентгенівський сканер, монітори радіаційного порталу, пристрій ідентифікації радіоізотопів, технологія інспекції імпульсної фотоядерної оцінки, системи нейтронного елементарного контролю, позначені нейтронні системи контролю, системи виявлення життєво важливих ознак, методи допиту нейтронів, швидка нейронна рентгенографія та мюонна рентгенографія космічних променів [10] дозволяють значно прискорити процес перевірки. Серед них інструментом, що найбільш використовується, є рентгенівський сканер.

Водночас існує низка завдань митного контролю, які неможливо вирішити за допомогою використання рентгенівських установок і комплексів, а саме:

- труднощі ідентифікації матеріалів з дуже схожим складом і щільністю [3];
- зображення можуть бути ускладнені тим, що часто об'єкти перекривають один одного, що ускладнює пошук вантажів, які незаконно переміщуються [4];
- неможливо проникнути через дуже великі щільні вантажі й екрануючі матеріали, що містять мідь, сталь або свинець [5];
- необхідність забезпечення радіаційного захисту не тільки для водіїв, працівників або операторів, але і для самих вантажів; певні товари недопустимо сканувати з використанням рентгенівських променів, наприклад живі тварини, жива риба, запліднена ікра різних видів риб та ін. [6];
- вплив «людського чинника» під час аналізу тінювих рентгенівських зображень;
- висока вартість обслуговування, експлуатації установок і необхідність облаштування інфраструктури.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями пошуку нових принципів і техно-

логій для розробки сучасних ефективних засобів контролю вантажів особливо активно займаються вчені США Морріс С., Бейкон Д., Асакі Т., Мрішима К. та ін., Європи – Карбоне Д., Гібберт Д., Мартео Д., Діамент М. та ін., а також Пантелєєва В., Афонін Д., Рузайкін І. Особливо перспективними є результати моделювання на основі мюонного зображення вантажних контейнерів, спільного алгоритму мюонного та рентгенівського дослідження.

**Формування цілей статті.** За мету статті взято узагальнення та порівняльний аналіз сучасних досліджень у сфері скануючого обладнання для митниць, аеропортів і портів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як зазначено вище, технологія сканування з використанням рентгенівських променів недосконала. Рентгенівські системи будують зображення на підставі питомої ваги матеріалу, що допускає можливість помилок, перекриття та маскування небезпечних об'єктів. Нейтронні установки більш чутливі до речовин з низьким і середнім атомними номерами. Комбінування даних методів зі скануванням дасть можливість отримати більш повну інформацію про переміщувані об'єкти.

Метод ядерної техніки розглядався і розроблявся як інспекційна система [1–2]. У системі інспекції на ядерній основі є декілька особливостей: глибоке проникнення, висока точність, специфічність та практичність (вартість та розмір). Ядерні методи [3–11] з використанням нейтронів, таких як PFNA, TNA, FNSA тощо, є кращими, оскільки вони можуть визначати вміст багатьох легких елементів, зокрема вуглецю, азоту та кисню. Окремі комерційні установки, що використовують нейтрони від протонного або дейтронного пучка, встановлені в деяких аеропортах і гаванях, однак вони мають недоліки з погляду вартості та розміру [9].

Ефективним і потужним інструментом для перевірки вантажів на предмет контрабанди слід відзначити також техніку рентгенографії на швидких нейтронах. Нейтрони мають необхідне проникнення, вони взаємодіють з речовиною у такий спосіб, що доповнює гамма-промені, і їх можна використовувати для визначення елементного складу. Порівняно з радіографією гамма-променів, системи нейтронної рентгенографії набагато ефективніші, особливо у випадку виявлення контрабанди ядерних матеріалів, де традиційні методи, такі

як рентгенівські промені або радіографія гамма-променів, малоефективні.

У роботі [7] автори розглядали застосування комбінованої нейтронно-фотонної томографії (КТ) для отримання тривимірних 3D-зображень. На основі розробленої методики візуалізації 3D-реконструкція за допомогою КТ виявила предмети різної форми та складу матеріалу, такі як залізо, свинець та поліетилен. Найкраще представлення форми та розрізнення матеріалу було досягнуто за до-

помогою злиття реконструйованих зображень з використанням джерел нейтронів і відновлення зображень, реконструйованих за допомогою нейтронних і 6-MeV фотонних джерел. Було продемонстровано, що нейтронно-фотонна томографія розрідженого виду дозволила виявити 3D-сцену у випадку контейнера, повністю заповненого залізом, алюмінієм і поліетиленом, розташованим зигзагоподібно; з використанням 2D рентгенограм це не було ефективним (рис. 3).

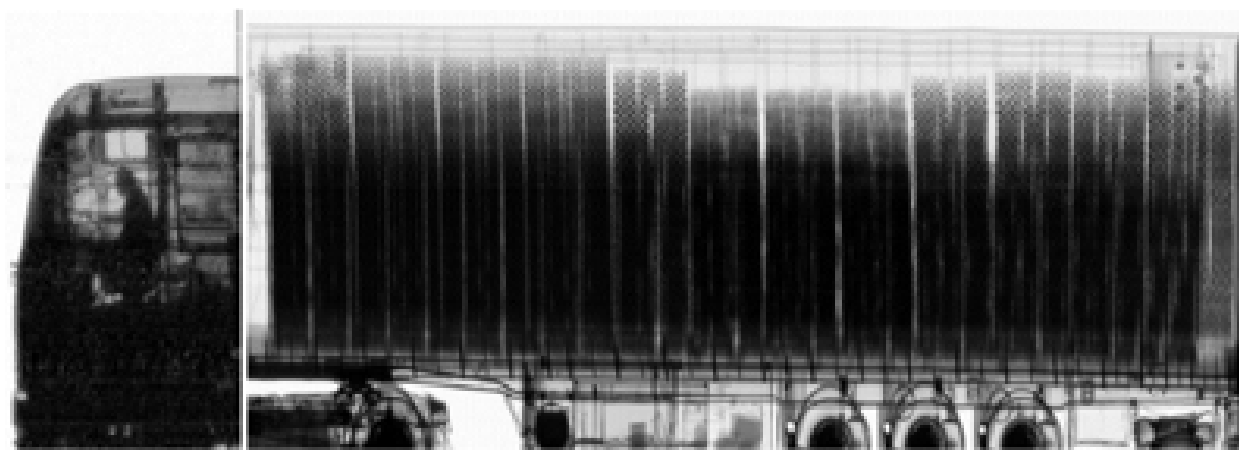


Рис. 3. Зображення вантажівки з використанням CabScan

На рис. 3 представлено зображення вантажівки, де кабіна сканується з низьким енергоспоживанням і низькою інтенсивністю, не перевищуючи дози випромінювання для водія, а вантажний відсік сканується у стандартному режимі [8].

Перспективним є комбінування методів рентгенівського, нейтронного та мюонного сканування. Принцип нейтронного аналізу заснований на використанні нейтронного генератора, що дозволяє виробляти нейтрони з енергією 14 MeV [9, 10], при цьому реєструється вторинне випромінювання гамма-квантів від ядер речовини, що опромінюється. Методи сканування на підставі використання швидких нейтронів ефективні для застосування, оскільки мають достатню проникаючу здатність, їх можна використовувати для визначення елементарного складу речовини [11]. З погляду ефективності, найбільш повну інформацію про контрольований об'єкт можна отримати за допомогою використання методів нейтронного та рентгенівського аналізу в поєднанні.

Комбінована нейтронно-фотонна комп'ютерна томографія дозволяє отримати відомості про склад матеріалу, форму об'єкта, а також тривимірне зображення вмісту контейнера. Співвідношення між джерелами нейтронів з енергією 2,5 MeV і 14 MeV і джерелами фотонів з енергією 3 MeV і 6 MeV дозволяє оцінити склад речовини, тоді як комп'ютерна томографія дає можливість уявити форму об'єкта [12]. Однак подібні системи є дорогими, вимагають значного радіаційного захисту й облаштування інфраструктури.

Автори [10] продемонстрували роботу радіологічного сканера, який може працювати як із гамма-, так і з технікою радіографії на швидких нейтронах. Цей сканер доводить хорошу здатність візуалізації виявлення положення контрабандних матеріалів, прихованих у вантажних контейнерах, і демонструє майже однакову ефективність.

Одним із перспективних напрямів інтроскопії великогабаритних вантажів є мюонна томографія.



Мюон (від грецької букви  $\mu$ ) – у стандартній моделі фізики елементарних частинок – нестійка елементарна частинка з негативним електричним зарядом і спіном  $1/2$ . Маса мюона в 207 разів більша від маси електрона; з цієї причини мюон можна розглядати як надзвичайно важкий електрон.

На Землі мюони реєструються в космічному промінні, вони виникають у результаті розпаду заряджених піонів. Піони утворюються у верхніх шарах атмосфери первинними космічними променями та мають дуже короткий час розпаду – декілька наносекунд. Час життя мюонів теж малий – 2,2 мікросекунди. Вони безперервно досягають Землі зі швидкістю, близькою до швидкості світла, і потоком близько 10 000 на  $\text{м}^2$  у хвилину [13]. Їх легко детектувати біля поверхні Землі.

Космічні промені мають високу проникну здатність і нині не існує штучних джерел мюонного випромінювання, тому томографія мюонів ґрунтується на використанні космічних променів.

Кожну хвилину майданчик площею  $1 \text{ см}^2$ , який горизонтально лежить на поверхні Землі, перетинає 1 мюон. Потік мюонів практично рівномірний, незначно залежить від географічної широти та пори року. Середня енергія мюонів становить близько 4 ГеВ, максимум спектра знаходиться близько 2 ГеВ. Велика проникна здатність (близько 1,8 м сталі при імпульсі 3 ГеВ/с) робить мюони привабливим джерелом для радіографії великогабаритних об'єктів, а їх рівномірний розподіл на поверхні Землі дозволяє здійснювати томографію практично в будь-якій точці планети. Мюонна томографія

використовує множинне розсіювання космічних мюонів, яке сильно залежить від атомного номера досліджуваного матеріалу, що дозволяє безпомилково виявляти радіоактивні матеріали (уран або плутоній), що знаходяться в екранованих контейнерах, а крім того, побічно робити висновок про наявність наркотичних і вибухових речовин за наявністю великих концентрацій локально розташованого азоту. Потік мюонів на рівні моря дозволяє отримати достатню статистику для відновлення тривимірного зображення об'єкта сканування за короткий проміжок часу, який можна порівняти з тривалістю сканування інспекційно-доглядових комплексів, що використовують рентгенівське випромінювання. При цьому мюонні томографи не дають додаткового променевого навантаження на скановані об'єкти, що дозволяє використовувати їх для сканування будь-яких вантажів і транспортних засобів.

Мюони безпечні у використанні. Не було виявлено, що мюони становлять будь-який ризик для здоров'я (на відміну, наприклад, від рентгенівських променів), і дотепер вони не завдають шкоди довкіллю будь-яким помітним чином. Тому їх використання не регулюється нормами безпеки. Важливою перевагою даної технології є відсутність додаткового променевого навантаження [14]. Мюони вже застосовують для досліджень архітектурних споруд (єгипетські піраміди), у геології, під час видобутку корисних копалин, для виявлення ядерних відходів, під час досліджень діючих вулканів (мюонний телескоп, що експлуатувався в Етні влітку 2010 року) та ін. (рис. 4).

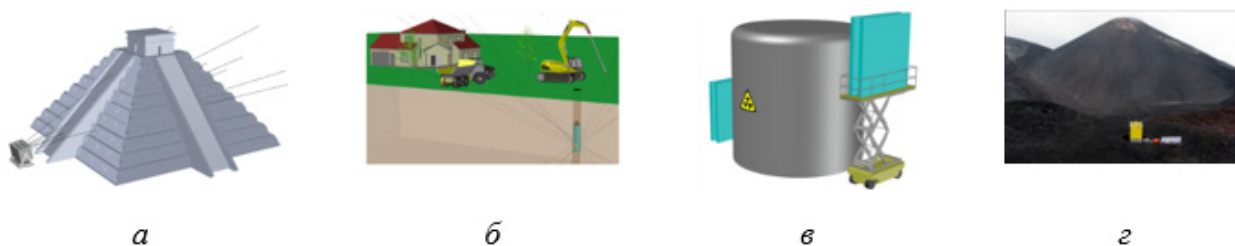


Рис. 4. Застосування мюонів для досліджень:

*а – архітектурних споруд (єгипетські піраміди); б – у геології, під час видобутку корисних копалин; в – виявлення ядерних відходів [18]; г – кратер південно-східний, один із чотирьох активних кратерів у районі вершини вулкана Етна (Італія) [15]*

Розроблено томограф, що дозволяє сканувати об'єкти понад  $100 \text{ м}^3$  [16]. Детектори даного томографа розташовані на восьми позиційно-

чутливих площинах (дають X- і Y-координати), з яких чотири розташовані нижче та чотири над обсягом, що перевіряється (рис. 5).

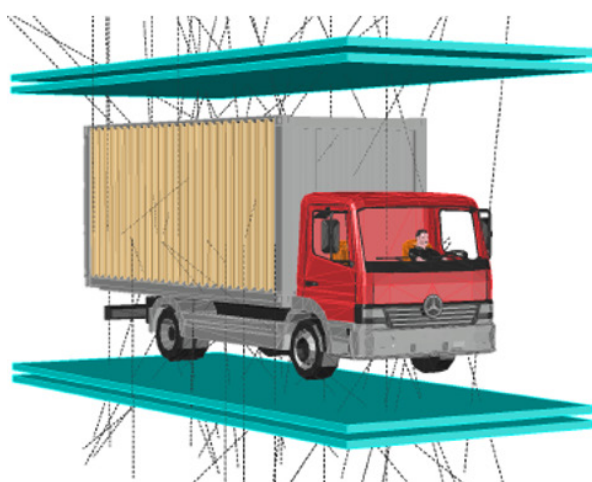


Рис. 5. Приклад геометрії детектора під час інспекції вантажу [18]

Загальний розмір мюонного томографа відповідає розміру реального контейнера  $6 \times 3 \times 3$  м. Кожна з детекторних площин складається з шести модулів  $1 \times 3$  м для покриття як X-, так і Y-координат одним і тим же типом модулів, не залишаючи ніяких мертвих зон. Детектори дозволяють відслідковувати мюони й електрони, що перетинають об'єкт контролю, і порівнювати їх траєкторії для кількісної оцінки багаторазового розсіювання кожного треку. Система дозволяє відновити 3D-томографічне зображення контрольованого об'єкта за допомогою відповідних алгоритмів реконструкції і методів візуалізації.

У митних цілях космічні мюони можливо використовувати так:

- для виявлення екранованих ядерних матеріалів – дана технологія заснована на тому, що, проникаючи в об'єкти, мюони взаємодіють з атомами різних матеріалів, в основному електромагнітно [17]. Вони більш сильно відхиляються або розсіюються матеріалами з високим атомним номером, включаючи ядерні матеріали, такі як уран і плутоній, і матеріали, що захищають від гамма-випромінювання, такі як свинець, вольфрам або золото [12]. За рахунок використання чутливості до об'єктів з різними атомними номерами можна отримати контрастне зображення вмісту контейнера та зробити висновки про наявність або відсутність ядерних матеріалів. У межах досліджень, проведених в університеті Південної Кароліни, були отримані тривимірні зображення легкового автомобіля шляхом використання мюонного розсіювання космічних променів [12];

- для ідентифікації наркотичних і вибухових речовин.

Мюонні томографи можна використовувати, щоб ідентифікувати об'єкти з середніми та низькими атомними номерами, але отримання достовірної інформації залежить від часу вимірювання. Зі скороченням часу дослідження контрольованого об'єкта точність результатів знижується (похибка 12,9 % під час вимірювання протягом хвилини, похибка близько 1 % – час дослідження від 10 до 30 хвилин) [4]. Технологія мюонного сканування знаходиться в розробці насамперед погану статистику мюонів за короткий проміжок часу. У 2014 р. Lingacom і Rapiscan запропонували використовувати мюони на стадії вторинного огляду. Підхід об'єднує дві технології: рентгенівську систему, що виконує сканування вантажу з високою пропускнуною спроможністю на предмет загальної контрабанди (отримання інформації про форму та щільність об'єктів), і більш специфічну систему виявлення мюонів, яка служить для виявлення матеріалів з високим атомним номером [18].

**Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі.** Такі переваги мюонної томографії, як висока проникаюча здатність, відсутність додаткового променевого навантаження на персонал, контрольовані товари та транспортні засоби, можливість побудови тривимірного зображення об'єкта контролю, виявлення контрабандних товарів, що знаходяться в екранованих контейнерах, роблять її перспективним методом інтроскопії під час митного контролю великогабаритних вантажів.

Причиною, що на даний час унеможливило впровадження мюонних томографів як самостійного засобу митного контролю в практичну діяльність митних органів, є відсутність чутливих детекторів мюонів, пошук яких і є метою подальших досліджень у даній сфері.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пантелеєва В. В. Сравнительный анализ возможностей рентгеновской, нейтронной и мюонной томографии товаров и транспортных средств для целей таможенного контроля / В. В. Пантелеєва, Д. Н. Афонин // Бюллетень инновационных технологий. – Т. 3. – № 1(9). – 2019. – С. 42–44.
2. Radiation technologies: view from Russia / Andreeva N. S., Budnik S. V., Bryazgin A. A. and others // Radiation technologies, RVC, Moscow. – 2015. – P. 26–27.
3. Min H. Challenges and opportunities for implementing X-ray scanning technology at the Korean hub port / H. Min // Int. J. Logistics Systems and Management. – 2016. – Vol. 25. – № 4. – P. 513–531.
4. Jaccarda N. Tackling the X-ray cargo inspection challenge using machine learning / N. Jaccarda, T. W. Rogersa, E. J. Morton // Anomaly Detection and Imaging with X-Rays (ADIX). – 2016. – Vol. 9847. – P. 1–13.
5. Yifan Z. Research on material discrimination method by cosmic ray muon tomography / Z. Yifan // Master thesis, dual diploma program advanced level, School of Science Tsinghua University, Stockholm – Beijing. – 2018. – P. 25.
6. Рузайкин И. В. Анализ современного состояния информационно-технического обеспечения таможенного контроля живых животных, перемещаемых через таможенную границу / И. В. Рузайкин // Бюллетень инновационных технологий. – 2018. – Том 2, № 1(5). – С. 37–40.
7. Hartman J. 3D imaging using combined neutron-photon fan-beam tomography / J. Hartman, A. Pour Yazdanpanah, A. Barzilov, E. Regentova // A Monte Carlo study Applied Radiation and Isotopes. – 111. – 2016. – P. 110–116.
8. Bendahan J. Vehicle and Cargo Scanning for Contraband / J. Bendahan // Physics Procedia. – 2017. – № 90. – P. 242–255.
9. Guidelines for the procurement and deployment of scanning/NII equipment. World customs organization. – 2018. – 27 p. Available at: [http://www.wcoomd.org/-/media/wco/public/global/pdf/topics/facilitation/instruments-and-tools/tools/safe-package/nii-guidelines-2018/nii-guidelines-en\\_dec-2018.pdf?la=en](http://www.wcoomd.org/-/media/wco/public/global/pdf/topics/facilitation/instruments-and-tools/tools/safe-package/nii-guidelines-2018/nii-guidelines-en_dec-2018.pdf?la=en). (accessed: 07.09.2020).
10. Yousri A. M. Scanning of cargo containers by gamma-ray and fast neutron radiography / A. M. Yousri, A. M. Osman, W. A. Kansouh, A. M. Reda, I. I. Bashter, R. M. Megahid // Armenian J. Phys. – Vol. 5. – № 1. – 2012. – P. 1–7.
11. Eberhardt J. Fast Neutron and GammaRay Interrogation of Air Cargo Containers / J. Eberhardt, Y. Liu // Proceeding or science. – 2006. – P. 1–11.
12. He W. A grey incidence algorithm to detect high-Z material using cosmic ray muons / W. He, S. Xiao, M. Shuai, Y. Chen, M. Lan, M. Wei, Q. Anb, X. Lai // Journal of Instrumentation JINST . – 2017. – № 12. – P. 100–119.
13. Morishima K. Discovery of a big void in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons / K. Morishima, A. Nishio, M. Kuno et al. // Nature. – 2017. – № 552. – P. 386–390.
14. Афонин Д. Н. Перспективы применения мюонной томографии при таможенном контроле / Д. Н. Афонин // Бюллетень инновационных технологий. – 2018. – Т. 2. – № 2(6). – С. 18–20.
15. Carbone D. An experiment of muon radiography at Mt Etna (Italy) / D. Carbone, D. Gibert, J. Marteau, M. Diament, L. Zuccarello, E. Galichet // Geophys. J. Int. – 2014. – P. 196, 633–643.
16. Morris C. L. Tomographic Imaging with Cos-

- mic Ray Muons / C. L. Morris, C. C. Alexander, J. D. Bacon et al. // *Science and Global Security*. – 2008. – Vol. 16. – P. 37–53.
17. Borozdin K. Cosmic-ray muon tomography and its application to the detection of high-z materials / K. Borozdin, T. Asaki, R. Chartrand et al. // Los Alamos National Laboratory, University of South Carolina. – 2014. – P. 18.
18. Bendahan J. Vehicle and Cargo Scanning for Contraband / J. Bendahan // *Physics Procedia* – 2017. – № 90. – P. 242–255.
6. Ruzajkin I. V. (2018). Analiz sovremennogo sostoyaniya informacionno-tehnicheskogo obespecheniya tamozhennogo kontrolya zhi-vyih zhivotnyh, peremeshchaemyh cherez tamozhennuyu granicu [Analysis of the current state of information and technical support for customs control of live animals transported across the customs border]. *Byulleten' innovacionnyh tekhnologij – Technology Innovation Bulletin*, 2, 1(5), 37-40 [in Russian].
7. Hartman J., Pour Yazdanpanah A., Barzilov A. & Regentova E. (2016). 3D imaging using combined neutron-photon fan-beam tomography. *A Monte Carlo study Applied Radiation and Isotopes*, 111, 110-116 [in English].

### REFERENCES

1. Panteleeva V. V. & Afonin D. N. (2019). Sravnitel'nyj analiz vozmozhnostej rentgenovskoj, nejtronnoj i myuonnoj tomografii tovarov i transportnyh sredstv dlya celej tamozhennogo kontrolya [Comparative analysis of the capabilities of X-ray, neutron and muon tomography of goods and vehicles for the purposes of customs control]. *Byulleten' innovacionnyh tekhnologij – Technology Innovation Bulletin*, 3, 1 (9), 42-44 [in Russian].
2. Andreeva N. S., Budnik S. V., Bryazgin A. A. et al. (2015). Radiation technologies: view from Russia. *Radiation technologies*, RVC, Moscow, 26-27 [in English].
3. Min H. (2016). Challenges and opportunities for implementing X-ray scanning technology at the Korean hub ports. *Int. J. Logistics Systems and Management*, 25, 4, 513-531 [in English].
4. Jaccarda N., Rogers T. W. & Morton E. J. (2016). Tackling the X-ray cargo inspection challenge using machine learning. *Anomaly Detection and Imaging with X-Rays (ADIX)*, 9847, 98470, 1-13 [in English].
5. Yifan Z. (2018) Research on material discrimination method by cosmic ray muon tomography. *Master thesis, dual diploma program advanced level, School of Science Tsinghua University*, Stockholm – Beijing, 25 [in English].
8. Bendahan J. (2016) Vehicle and Cargo Scanning for Contraband. *Physics Procedia*, 90, 242-255 [in English].
9. Guidelines for the procurement and deployment of scanning (2018). NII equipment. World customs organization. Available at: [http://www.wcoomd.org/-/media/wco/public/global/pdf/topics/facilitation/instruments-and-tools/tools/safe-package/nii-guidelines-2018/nii-guidelines-en\\_dec-2018.pdf?la=en](http://www.wcoomd.org/-/media/wco/public/global/pdf/topics/facilitation/instruments-and-tools/tools/safe-package/nii-guidelines-2018/nii-guidelines-en_dec-2018.pdf?la=en) (accessed: 07.09.2020) [in English].
10. Yousri A. M., Osman A. M., Kansouh W. A., Reda A. M., Bashter I. I., Megahid, M. et al. (2010). Scanning of Cargo Containers by Gamma-ray and Fast Neutron Radiography. *Tenth Radiation Physics & Protection Conference*. Nasr City – Cairo, Egypt, 203-209 [in English].
11. Eberhardt J. & Liu Y. (2006). Fast Neutron and GammaRay Interrogation of Air Cargo Containers. *Proceeding or science*, 1-11 [in English].
12. He W., Xiao S., Shuai M., Chen Y., Lan M., Wei M., Anb Q. & Lai X. (2017). A grey incidence algorithm to detect high-Z material using cosmic ray muons. *Journal of Instrumentation JINST*, 12, 100-119 [in English].
13. Morishima K., Nishio A., Kuno M. et al. (2017). Discovery of a big void in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons.



- Nature*, 552, 386–390 [in English].
14. Afonin D. N. (2018). Perspektivy primeneniya myuonnoj tomografii pri tamozhenom kontrole [Prospects for the use of muon tomography in customs control]. *Byulleten' innovacionnyh tekhnologi – Technology Innovation Bulletin*, 2, 2(6), 18-20 [in Russian].
  15. Carbone D., Gibert D., Marteau J., Diamant M., Zuccarello L. & Galichet E. (2014). An experiment of muon radiography at Mt Etna (Italy) // *Geophys. J. Int.*, 196, 633-643 [in English].
  16. Morris C. L., Alexander C. C., Bacon J. D. et al. (2008). Tomographic Imaging with Cosmic Ray Muons. *Science and Global Security*, 16, 37-53 [in English].
  17. Borozdin K., Asaki T., Chartrand R. et al. (2014). Cosmic-ray muon tomography and its application to the detection of high-z materials. *Los Alamos National Laboratory, University of South Carolina*, 18 [in English].
  18. Bendahan J. (2017) Vehicle and Cargo Scanning for Contraband. *Physics Procedia*, 90, 242-255 [in English].

**Т. В. Сахно**, доктор химических наук, старший научный сотрудник; **А. Д. Кобищан**, кандидат технических наук, доцент; **Л. Н. Губа**, кандидат технических наук, доцент; **Ю. А. Басова**, кандидат технических наук, доцент; **А. А. Семенов**, кандидат физико-математических наук, доцент (Высшее учебное заведение Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли»). **Перспективные направления повышения эффективности таможенного оборудования для сканирования грузов.**

**Аннотация.** Целью статьи является обобщение и сравнительный анализ современных исследований в области сканирующего оборудования для таможен, аэропортов и портов. На сегодняшний день в мире 70 % сканирующих устройств основаны на использовании рентгеновского излучения. Данное оборудование позволяет существенно сократить время таможенного досмотра грузов, но имеет и недостатки. Поэтому актуальным является дальнейший поиск современных технологий, которые стали бы основой для разработки высокоэффективных современных сканирующих приборов, способных обнаруживать при таможенном досмотре грузов незаконные и опасные материалы, такие как взрывчатые вещества, химическое оружие, наркотики, радиоактивные материалы и тому подобное. Такие преимущества мюонной томографии, как высокая проникающая способность, отсутствие дополнительной лучевой нагрузки на персонал и контролируемые товары и транспортные средства, возможность построения трехмерного изображения объекта контроля, выявление контрабандных товаров, находящихся в экранированных контейнерах, делают ее перспективным методом интроскопии при таможенном контроле крупногабаритных грузов. Причиной, которая в настоящее время делает невозможным внедрение мюонных томографов в качестве самостоятельного средства таможенного контроля в практическую деятельность таможенных органов, является отсутствие чувствительного детектора мюонов, поиск которого и является целью дальнейших исследований в данной сфере.

**Ключевые слова:** таможенное оборудование, сканирование грузов, рентгеновские лучи, мюоны, мюонная томография.

**T. Sakhno**, Dc. Chem. Sci., SRF; **A. Kobischan**, PhD, Associate Professor; **L. Guba**, PhD, Associate Professor; **Y. Basova**, PhD, Associate Professor; **A. Semenov**, PhD, Associate Professor (Poltava University of Economics and Trade). **Promising directions for increasing the efficiency of customs scanning devices.**

**Summary.** The purpose of the article is to summarize and comparative analysis of modern research in the field of scanning equipment for customs, airports and ports. Today, 70 % of scanning devices in the world are based on the use of X-rays. This equipment can significantly reduce the time of customs inspection of goods, but it also has significant drawbacks. Therefore, it is urgent to further search for modern technologies that would become the basis for the development of highly effective modern scanning devices capable of detecting illegal and hazardous materials, such as explosives, chemical weapons, drugs, radioactive materials, and the like during customs inspection of goods. One of the promising areas of introscopy of large loads is muon tomography. The advantages of muon tomography, such as high penetrating power, the absence of additional radiation exposure

*on personnel and controlled goods and vehicles, the ability to construct a three-dimensional image of the controlled object, and the identification of contraband goods in shielded containers, make it a promising method of introscopy for customs control of bulky cargo. It is important that muons are safe to use and do not pose any risk to human health (unlike, for example, X-rays), and do not harm the environment in any appreciable way. Therefore, their use is not regulated by safety regulations. Muon scanning technology is under development primarily due to poor muon statistics over a short period of time. For customs purposes, space muons can be used as follows: to detect shielded nuclear materials and to identify drugs and explosives. The reason that currently makes it impossible to introduce muon tomographs as an independent means of customs control in the practical activities of customs authorities is the absence of sensitive detector of muon radiation, the search for which is the goal of further research in this area.*

**Key words:** *customs equipment, cargo scanning, X-rays, muons, muon tomography.*