

# ДЕТЕКТОРНА СИСТЕМА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ І БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

П.В. Палінічак<sup>1</sup>, О.В. Кисилевський<sup>1</sup>, О.Ю. Бусь<sup>2</sup>, В.Я. Левшенюк<sup>3</sup>, В. С. Орлов<sup>1</sup>, Л. О. Голінка-Безшийко<sup>1</sup>, О. А. Безшийко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка (КНУТШ), Київ, Україна

<sup>2</sup>Рівненська Мала академія наук учнівської молоді

<sup>3</sup>Національний університет водного господарства і природокористування, Рівне

Згідно чинного законодавства України [1] захист людини від радіонуклідів, що містяться у будівельних матеріалах, забезпечується рядом заходів, у т.ч. веденням виробничого контролю за вмістом радіонуклідів, що містяться у будівельних матеріалах... Підприємства та організації, що здійснюють виробництво, постачання будівельних матеріалів та споруди, а також підприємства, відходи яких використовуються для виготовлення будівельних матеріалів або як будівельні матеріали повинні забезпечити радіаційний контроль згідно розділу 8 «Норми радіаційної безпеки України» (НРБУ-97) [2], та п.п. 19.2, 19.4 «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України» [3], затверджених наказом МОЗ України від 02.02.2005 р. №54 та ряду ДБН України. Згідно [1] «До повноважень місцевих органів виконавчої влади щодо забезпечення захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання належить: ... організація контролю за вмістом радіонуклідів, що містяться у будівельних матеріалах, забезпечення захисту людини від впливу радіонуклідів, що містяться у будівельних матеріалах, заборона застосування будівельних матеріалів і виробів з них, що не відповідають вимогам захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання». Також необхідний постійний контроль на вміст радіонуклідів в продуктах харчування [4], особливо тих, які збираються в лісових масивах (лісові ягоди, гриби тощо) з потенційною можливістю захоплення зон ураження від Чорнобильської аварії. Розроблено достатньо багато різних детекторних систем для вимірювання такої радіоактивності, але більшість з них мають стаціонарне призначення, великогабаритні і не пристосовані до ефективних вимірювань в мобільних умовах, в місцях виготовлення, збирання та перевезення будівельних матеріалів, в точках повсякденного збору лісових ягід та грибів для оперативного відлідування сильно забруднених радіоактивними газотворними викидами лісових партій продукції. В роботі розглянуто роботу студентів спеціальності «Експлуатаційна ядерна фізика» разом з учнівською молоддю з Рівненської МАН і активною допомогою досвідчених авторів (які вже мають досвід виконання схожих задач [5,6]) із розробки та побудови мобільного детектора для вимірювання вмісту радіонуклідів в будівельних матеріалах і продуктах харчування. Також розглянуто можливість використання сучасних детекторів великої площі з фізикою високих енергій (детектори на основі спеціальної конфігурації системи з рідким сцинтилятором і SiPM фотодетекторами, а також на основі RPC – resistive plate chambers) для вирішення задачі швидкого вимірювання зразків великого об'єму. Мобільний детектор забруднених зразків виконано на сцинтиляційному детекторі із кристалом великого об'єму, перевіряється в роботі як кристали NaI(Tl) так і кристали CsI(Tl), які мають тріумф гіршу роздільну здатність, але більш стійкі до зовнішніх умов і потенційно більш прості для виготовлення. Зовнішня схема по структурі і зовнішньому вигляду схожа на детекторну систему наведеному у [8]. На відміну від неї використовуються термічне калібрування, враховуючи сильну температурну залежність сцинтиляційних кристалів, які використовуються в детекторі, аналізатор імпульсів має на порядок більшу швидкість і відповідно дозволяє проводити оцифрування сигналів та проводити числовий аналіз форми сигналу і наконечувати спектр прямо на планшеті, а зображення спектра і оброблені величини радіоактивності зразків (мікроконтролер обчислює величину потужності більш ніж достатня для цих задач) виводяться на екрані мобільного детектора чи на планшет, коли людина чи смартфон оператора. Блок високої напруги, аналізатор імпульсів, контроль заряду батареї, регульований підсилювач і формує сигнал виготовлені авторами, що дозволяє суттєво спростити і зменшити прилад.

## Актуальність

### Контроль радіоактивності будівельних матеріалів

«Захист людини від впливу радіонуклідів, що містяться у будівельних матеріалах, забезпечується такими заходами: ... веденням виробничого контролю за вмістом радіонуклідів, що містяться у будівельних матеріалах ... заборонаю застосування будівельних матеріалів і виробів з них, що не відповідають вимогам захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання».



Недоліки існуючих систем:

- Висока вартість
- Неможливість проведення вимірів на місці
- Складність управління
- Радіоактивність визначається лише у поверхневих шарах



### Контроль якості вугілля (визначення частки золи та інших домішок)

Саме вугілля не радіоактивне, але при наявності достатньо великої кількості невуглецевих домішок, які часто містять радіоактивні ізомери природних рядів урану та торію, вугільна суміш може мати високий рівень активності, з якої можна визначити процентний вміст домішок (при відповідному калібруванні). Недоліки подібних систем для визначення якості вугілля співпадають із наведеними вище.



## Визначення радіаційної чистоти лісових ягід

### Вибухове зростання експорту ягід

Останні кілька років спостерігається стрімке зростання експорту лісових та вирощених ягід з України. Експорт української плодово-ягідної продукції у 2019 році виріс на 10% у порівнянні з 2018 роком. На сьогодні лісова чорниця лідирує за обсягом експорту ягід у кількісному виразі з часткою 44%. Варто зазначити, що 6% експорту як у кількісному, так і у вартісному виразі припадає на дикорослу ожину. Таким чином, «дикороси» забезпечують 50% експортних поставок та стільки ж валютних надходжень від них.

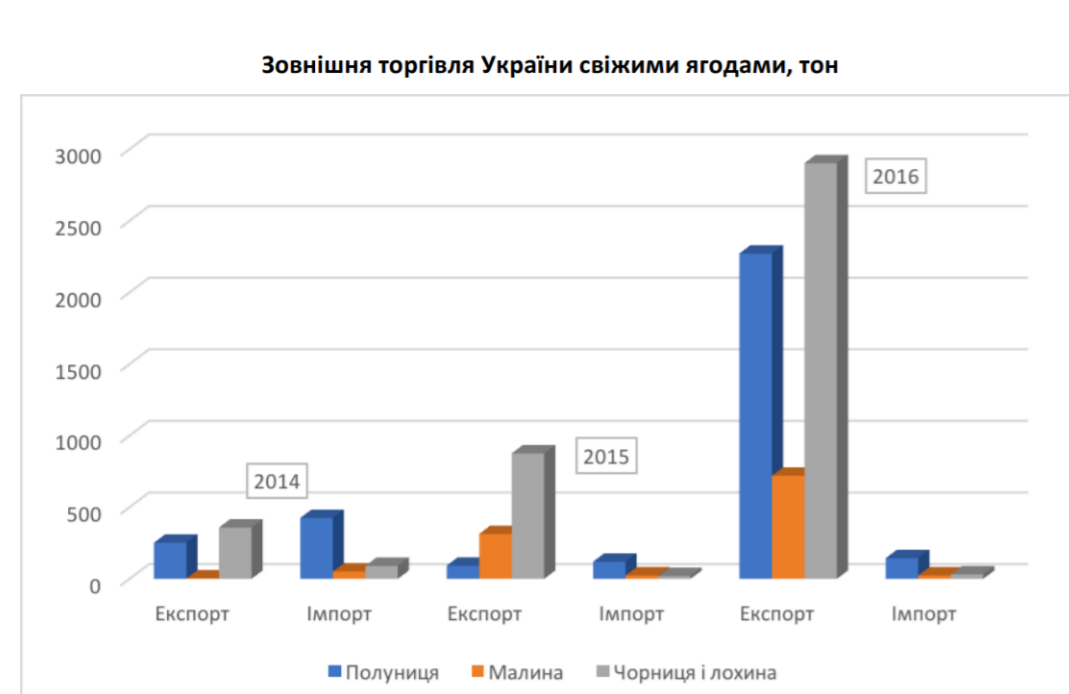


Рис. 1 Експорт дикорослих ягід з України / Українська плодовоовочева асоціація

За результатами 2019 року Україна експортувала плодово-ягідної продукції на суму 260 млн дол. Експортні надходження від поставок лісової чорниці становлять майже половину від усієї вартості експорту м'яких ягід, повідомляє Українська плодовоовочева асоціація. Проте, ще три роки тому частка дикорослих ягід у загальному обсязі експорту становила 90%. Тобто виробництво та експорт культурної ягоди в Україні розвивається швидкими темпами. Частка малини в

загальному обсязі поставок ягід закордон становить 29%, тоді як три роки тому вона сягала лише 5-7%. Частка суніці садової також зростає та становить 12%, проти 5% три роки тому. Згідно українських, і особливо закордонних, вимог харчового законодавства, необхідний постійний контроль вмісту радіонуклідів у продуктах харчування, особливо тих, які збираються в лісових масивах (лісові ягоди, гриби тощо) з потенційною можливістю захоплення зон ураження від Чорнобильської аварії. Для недопускання переміщення сильно забруднених партій лісових ягід із чистими, необхідно проводити перевірку якомога ближче до місць збирання. Висока ціна та низька мобільність систем та засоби вимірювання практично блокує таку можливість.



Також відкритим залишається питання відокремлення природних радіоактивних ізомерів ( $K^{40}$ , від ізомерів аварійних викидів ( $Cs^{137}$ ), коли для зменшення ціни приладів використовують детекторні системи, з поганою енергетичною роздільною здатністю, або з повною її відсутністю. Група молодих науковців (студентів кафедри ядерної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка та юних дослідників Рівненської МАН) під керівництвом досвідчених науковців з університетів Києва та Рівного запропонувала та розробила бюджетний варіант вимірювальної системи, яка може використовуватись як в стаціонарних умовах, так і в мобільному режимі, із застосуванням, при необхідності, пасивного та активного захисту від навколишнього радіаційного фону. Для зменшення космічного фону мюонів можуть використовуватись RPC-детектори, або позиційно-чутливі бокси, наповнені рідким сцинтилятором.

На Рис. 2 зображено спрощену блок-схему установки. Розміри сцинтиляційного кристалу NaI(Tl), що використовується у цій системі – 63x63 мм. Також з метою порівняння використовувався кристал CsI(Tl) такого ж розміру.



Рис.2 Блок-схема установки

Багатоканальний аналізатор імпульсів було реалізовано на основі недорогої плати для прототипування схем STM32 F7 Discovery board. Обрана плата містить сенсорний кольоровий дисплей з високою роздільною здатністю діагонально 4,3 дюйма, 3 АЦП, що працюють на швидкості 2,4 Мс/с.

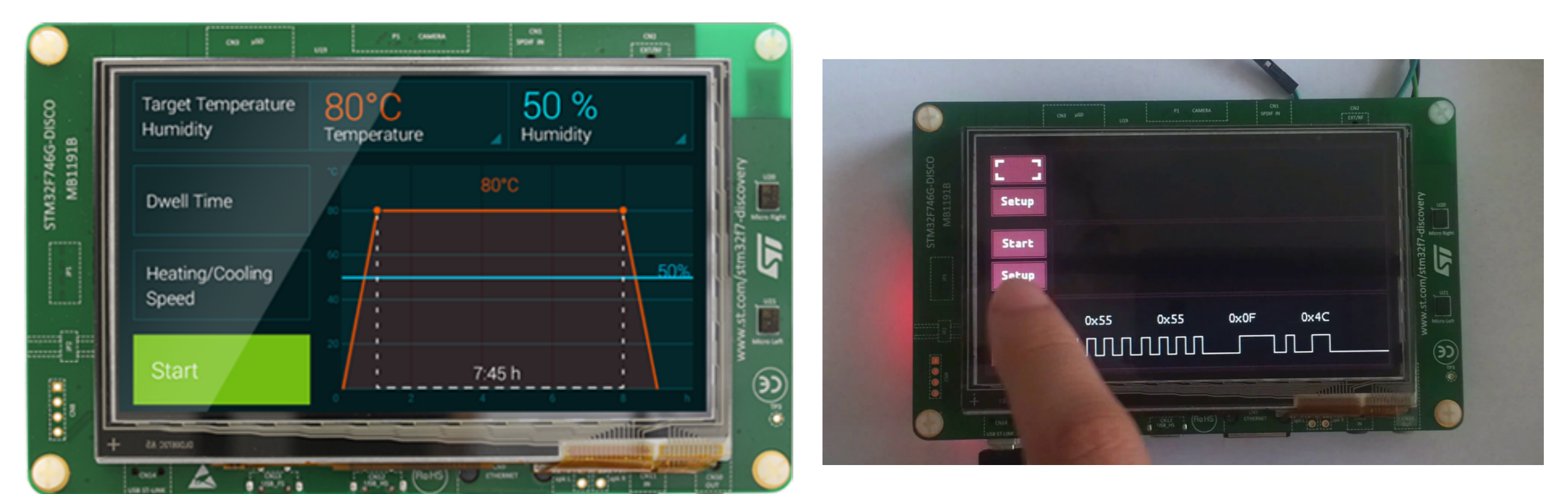


Рис.3 Плата STM32 F7 Discovery

Також розглянуто можливість вимірювання на великих глибинах (до двох з половиною метрів) насипів або всередині вагонів будівельних матеріалів та вугілля.

## Література

1. Закон «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» від 14 січня 1998 року №15/98-ВР, ст. 9 та 15, <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/15/98>
2. «Норми радіаційної безпеки України» (НРБУ-97), <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97/stru/conv>
3. «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України», <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05>, 2005
4. Державні гігієнічні нормативи «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}Cs$  та  $^{90}Sr$  у продуктах харчування та питній воді», <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06>, 2008
5. О. А. Безшийко та інші. «Исследование возможности гамма-спектрометрии углей в полевых условиях» Ядерна фізика та енергетика, т.10, №1, 2009, ст. 92.
6. О. А. Безшийко та інші. «Портативный сцинтилляционный гамма-спектрометр для измерения радиоактивности объемных сред в полевых условиях», Ядерна фізика та енергетика, т.12, №4, 2011, ст. 400.
7. Інтернет-видання «Аграрний тиждень.Україна», «44% Експорту ягід припідіє на чорницю лісову», <https://a7d.com.ua/novini/39705-44-eksportu-yagd-pripadaye-na-chornicyu-losovu.html>