

Имя пользователя:
Баранюк Олександр Володимирович

ID проверки:
1011521282

Дата проверки:
09.06.2022 14:31:51 EEST

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:
09.06.2022 14:39:28 EEST

ID пользователя:
100007114

Название файла: TYa81-BakanovVV-special-question-2022

Количество страниц: 16 Количество слов: 3013 Количество символов: 22607 Размер файла: 53.80 KB ID файла: 1011395151

1.13% Совпадения

Наибольшее совпадение: 0.86% с Интернет-источником (http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE15203.html)

1.13% Источники из Интернета | 2 Страница 18

0.7% Источники из Библиотеки | 1 Страница 18

0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

0% Исключений

Нет исключенных источников

3. ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ ТОЛЕРАНТНОГО ПАЛИВА НА ЕКСПЛУАТАЦІЮ НА СУЧАСНИХ РЕАКТОРАХ УКРАЇНИ ТА МАЙБУТНІХ МАЛИХ МОДУЛЬНИХ РЕАКТОРІВ

3.1 Що таке толерантне паливо

Безпека є найбільшим пріоритетом в галузі атомної енергетики. У 32 країнах працює близько 450 енергетичних реакторів. Майже всі ці реактори на найпростішому рівні використовують однакову конструкцію – паливні таблетки з діоксиду урану, інкапсульовані всередині оболонки з цирконієвого сплаву.

Нині використане паливо не є ідеальним, особливо коли йдеться про аварії. Небезпечні автокаталітичні екзотермічні пароцирконієві реакції починаються при відносно низьких температурах близько 800 °С, а реакція водяної пари з цирконієм утворює водень. Як вирішення цієї проблеми досліджується толерантне паливо, яке має замінити поточне паливо частково або повністю.

Толерантне до аварій паливо (Accident Tolerant Fuel) або просто толерантне паливо – це низка змін, запропонованих у конструкції та експлуатації існуючих паливних збірок. Пропоновані конструкції включають зміни в саму оболонку, паливні таблетки або фундаментальні зміни в конструкції палива, експлуатаційні зміни передбачають збільшення вигорання палива зі збільшенням збагачення палива.

Ці зміни підвищують безпеку в запроектованих аваріях, зменшуючи частоту пошкоджень активної зони, утворення водню та виділення газів продуктів поділу, а також можуть збільшити термін служби теперішніх і майбутніх ядерних реакторів.

У цій роботі будуть описані зміни в поточних конструкціях твेलів, розглянуті принципово нові конструкції палива, проаналізовано застосовність

використання на теперішніх і майбутніх українських електростанціях і малих модульних реакторах та виконано порівняння палива, що стійке до аварії, з поточними розробками палива в умовах аварії. [3]

3.2 Зміни, запропоновані толерантним паливом

Зміни палива, запропоновані програмою толерантних палив, можна розділити на три категорії:

- Модифікації конструкції: структурні зміни у оболонці або у паливних таблетках.
- Експлуатаційні модифікації: збільшене вигорання та підвищене збагачення палива.
- Фундаментальні зміни конструкції: зміни складу твелів та нові типи конструкції палива для нових типів реакторів.

3.2.1 Модифікації конструкції

Модифікації конструкції включають

- зміни в оболонці твела - хромове покриття цирконію, перехід на оболонку Fe - Cr - Al, перехід на оболонку з карбиду кремнію,
- зміни в паливних таблетках - легування паливних таблеток, перехід на таблетки на основі нітриду урану.

3.2.1.1 Хромове покриття

Покриття паливних оболонок в даний час досліджується для впровадження у реактори найближчим часом. [3]

Покриття є найбільш очевидним способом протидії корозії. Найбільш перспективним є хромове покриття. Він має хорошу корозійну стійкість, високу стабільність під впливом нейтронного опромінення та високу стійкість до парових реакцій, [4], а також покращений захист паливних стрижнів від уламків. [3]

Покриття можна наносити як на зовнішню, так і на внутрішню сторону паливного елемента. Покриття зовні має ефект, зазначений вище. Внутрішнє покриття необхідне для уловлювання продуктів поділу та запобігання потраплянню в охолоджуючу рідину. Схема різних конфігурацій покриття оболонки твела зображена на рисунку Е.1 в додатку Е. Але оскільки цирконієві сплави мають властиву здатність уловлювати ці продукти, покриття на внутрішній стороні для оболонки на основі цирконію можна не включати, але це не завжди вірно для інших покриттів [5].

3.2.1.2 Оболонка Fe - Cr - Al

Залізо-хром-алюмінієва оболонка (Fe - Cr - Al) є альтернативою сплавам на основі цирконію. Цей тип оболонки має покращені характеристики окислення з паром при високих температурах, що може призвести до більш тривалого часу подолання аварійної ситуації та меншого утворення водню за проектною аварії та важких аварійних умов; підвищена міцність при зменшеній товщині облицювання; покращені корозійні властивості. [3] Наприклад, для оболонки з цирконієм гранична проектна температура становить 1200 °С, що обумовлена високою автокаталітичною реакцією з воднем, для Fe - Cr - Al гранична температура становить 1500 °С вона вже обумовлена температурою плавлення матеріалу. [5].

Така оболонка має вищий переріз поглинання теплових нейтронів порівняно з оболонкою з цирконієвого сплаву тобто і зменшені розмножуючі властивості (більше в пункті 3.4), тому потребує більшого збагачення та/або меншої товщини оболонки та більшого діаметра таблеток (або іншого матеріалу таблеток (див. 3.2.1.5)). [4]

3.2.1.3 Оболонка SiC

Розробляється кілька композитних матеріалів для оболонки з карбїду кремнію (SiC). Для цієї технології волокна SiC сплітають, а потім просочують додатковим карбїдом кремнію, щоб утворити жорстку трубку. Ця

технологія є на даний час лише на ранніх етапах розробки та лише у довгостроковій перспективі.

Основними перевагами є структурна цілісність при дуже високих температурах, навіть вище температури плавлення діоксиду урану, покращені характеристики високотемпературного окислення парою, що призводить до більш тривалого часу для подолання експлуатаційної події та меншого утворення водню в умовах проектної аварії та важких аварій. Переріз поглинання карбіду кремнію є доволі низьким, що дозволяє використовувати таблетки із стандартним збагаченням. [5]

Однак для такої оболонки є декілька проблем що треба вирішити серед яких: підвищена проникність для газів поділу, корозія під час нормальної роботи реактора може призвести до втрати маси SiC, що призведе до ослаблення оболонки; відсутність пластичності може бути проблемою для ситуацій з різкими змінами потужності станції, очікуваних операцій і постулюваних аварій; можливості виготовлення як наприклад, закріплення кінцевих заглушок на SiC трубі виявилося складним завданням. [3]

3.2.1.4 Леговані таблетки

Леговані таблетки є однією з найперспективніших технологій з точки зору найближчого впровадження.

Наразі постачальники палива досліджують та тестують паливні таблетки, у які додають інші матеріали, відомі як добавки, у таблетки під час виробничого процесу. Ці добавки змінюють фізичні властивості отриманої паливної таблетки. Виробники палива стверджують, що можливі переваги «легованих» таблеток перед існуючими конструкціями включають:

- Зменшену жорсткість паливної таблетки зменшує ризик пошкодження оболонки, що може дозволяє використовувати більш гнучку експлуатацію станції.

- Збільшений розмір керамічного зерна сприяє затримці газів продуктів поділу в паливній таблетці, що може зменшити вихід радіоактивних газів під час експлуатаційних подій.

Леговані таблетки вже були схвалені комісією з ядерного регулювання США для реакторів з киплячою водою для палива з Global Nuclear Fuels – Americas і Framatome. Також, Westinghouse і Framatome в даний час розробляють леговані таблетки для реакторів з водою під тиском, і в рамках цієї розробки в енергетичні реактори США були встановлені випробувальні збірки з легованими таблетками.[3]

3.2.1.5 Таблетки з нітриду урану

Westinghouse співпрацює з Національною лабораторією Айдахо над розробкою нітриду урану (UN) для заміни діоксиду урану в паливних таблетках. Спочатку силіцид урану (U_3Si_2) досліджувався для використання зі свинцевими тестовими збірками. Однак після подальших досліджень Westinghouse визначив, що U_3Si_2 не є життєздатним для майбутнього розвитку, і змінив свої зусилля на просування UN. Потенційні переваги паливних таблеток UN [3]:

- Збільшення щільності урану, що сприяє підвищенню потужності або тривалішим паливним циклам

- Висока температура плавлення
- Низьке паразитне поглинання нейтронів
- Підвищення теплопровідності палива сприяє зниженню робочих температур

Потенційні проблеми паливних таблеток UN, які необхідно подолати:

- Потрібен рідкісний ізотоп азоту (^{15}N).
- Висока швидкість хімічної реакції з теплоносіями легководних реакторів при номінальних робочих температурах

Зараз таблетки UN проходять дослідження та розробку. [3]

3.2.2 Эксплуатаційні зміни

Експлуатаційні зміни включають

- Підвищене вигорання для більш тривалого часу роботи палива та зниження кількості палива за цикл
- Підвищене збагачення для більшого вигорання та меншої кількості палива.

3.2.2.1 Підвищене вигорання

Для реалізації концепцій толерантного палива на найближчу перспективу (оболонка з хромованим покриттям, леговані таблетки, оболонка з Fe - Cr - Al) постачальники палива та ліцензіати на енергетичні реактори вивчають можливість збільшення межі вигорання до 75 або 80 ГВт*д/т. Поточна верхня межа вигорання для ядерного паливного стрижня незначно відрізняється у трьох постачальників палива, але вона відповідає приблизно 62 ГВт*д/т в усередненому значенні для стрижня. Це обмеження міститься в затверджених NRC методах аналізу палива для кожної окремої ліцензії, виданої NRC. Щоб збільшити цей ліміт вигорання, ліцензіатам знадобиться внести зміни до ліцензії та надати технічне обґрунтування того, що паливо залишається безпечним під час експлуатації та після видалення з реактора.[3]

Збільшення ліміту вигорання може дати декілька потенційних переваг для ліцензіатів, зокрема:

- Більш тривалі цикли реактора – реактори можуть працювати довше між перервами на заправках
- Потрібно купувати менше паливних збірок у постачальників палива

Більше вигорання може мати значний вплив на енергетичну роботу та задню частину ядерного паливного циклу. На додаток до поправок до ліцензії, кілька інших конкретних завдань, необхідних для отримання ліцензії з більшим вигоранням, можуть включати:

- Оновлення аналітичних моделей палива, які передбачають поведінку та продуктивність палива, щоб отримати більш високий ефект вигорання
- Оновлення проектних основ і аналіз безпеки при більш високих рівнях вигорання
- Зміни в розрахунках вихідних термінів
- Розробка транспортних та сухих контейнерів зберігання для більшого вигорання
- Аналіз критичності безпеки басейнів ВЯП та модифікацій для більш високих теплових навантажень
- Вирішення технічних проблем (наприклад, переміщення та розсіювання фрагментації палива)

3.2.2.2 Збільшене збагачення

Підвищене збагачення необхідне для компенсації зміненої структури оболонки.

Для реалізації найближчих концепцій толерантного постачальника палива та ліцензіати на енергетичні реактори вивчають можливість збільшення максимального збагачення палива до 10%. Наразі в у світовій спільноті прийнято, що рівні збагачення урану-235 у паливі енергетичних реакторів не можуть перевищувати 5% за масою, якщо не будуть запроваджені значні додаткові обмеження, системи установки або аналізи. Щоб отримати дозвіл на підвищення рівня збагачення у виробництві та використанні палива, постачальникам і ліцензіатам може знадобитися вимагати виключення з відповідних правил та поправок до ліцензії, щоб змінити їхні дозволені рівні збагачення.[3][6]

Виробники палива та ліцензіати на енергетичних реакторів вважають потенційними перевагами збільшення збагачення:

- Підвищена операційна гнучкість
- Менше паливних збірок для купівлі

- Здатність досягти більшого вигорання

Збільшення рівня збагачення має широкий вплив на весь ядерно-паливний цикл. На додаток до потенційних регуляторних питань, необхідна велика кількість заходів для збільшення збагачення. Деякі з цих заходів включають:

- Критичні аналізи безпеки та зміни об'єктів для збагачення та виробництва палива
- Розробка транспортних контейнерів для UF₆, UO₂ та свіжих паливних збірок
- Зміни в розрахунках вихідних термінів
- Модифікація кодів аналізу палива реактора
- Аналіз критичності безпеки басейнів ВЯП та модифікацій для більш високих теплових навантажень
- Розробка та аналіз сухих складських контейнерів

3.2.3 Принципові зміни

Ці зміни змінюють всю структуру палива і плануються для використання в нових передових реакторах.

- Екструдоване металеве паливо
- TRISO

3.2.3.1 Екструдоване металеве паливо

Потенційними перевагами екструдованого металевого палива є:

- Значне збільшення теплопровідності палива (у порівнянні з керамікою) сприяє зниженню робочих температур:
- Повне утримання продуктів поділу означає відсутність вивільнення цих продуктів при розриві оболонки
- Підтримує більш високу потужність і тривалі паливні цикли

Потенційні проблеми екструдованого металевого палива, які необхідно подолати:

- Через відносно низьку щільність урану в цирконієво-урановій матриці порівняно з щільністю урану в паливі з діоксиду урану необхідне більш високе збагачення U-235 (до 19,8%, що набагато вище, ніж зараз бажане до 10% для інших технологій толерантних палив). Це збагачення має більший ризик критичності.[3]

3.2.3.2 TRISO

TRISO розшифровується як TRi-structural ISOtropic particle fuel (три-структурне ізотропне паливо).

Кожна частинка TRISO складається з паливного ядра урану, вуглецю та кисню. Ядро інкапсульоване трьома шарами матеріалів на основі вуглецю та кераміки, які запобігають виділенню радіоактивних продуктів поділу. Конструкційна схема TRISO зображена на рисунку E.2 додатку E.

Частинки неймовірно малі (розміром з макове зернятко) і дуже міцні.

З них можна виготовляти циліндричні таблетки або сфери розміром з більярдну кулю, які називаються «галькою» для використання в реакторах з високотемпературним газовим або розплавленим соляним охолодженням.

Паливо TRISO структурно більш стійке до нейтронного опромінення, корозії, окислення та високих температур (фактори, які найбільше впливають на продуктивність палива), ніж традиційне паливо для реакторів.

Завдяки шарам з потрібним покриттям кожна частинка діє як власна система утримання. Це дозволяє їм утримувати продукти поділу за будь-яких умов реактора.

Простіше кажучи, частинки TRISO не можуть розплавитися в реакторі і можуть витримувати екстремальні температури, які значно перевищують поріг нинішнього ядерного палива.[7]

3.3 Застосування толерантних палив

Основною перевагою змін запропонованих в розрізі толерантних палив є стійкість до аварійних ситуацій. Одні можуть підвищити стійкість до високих температур, а в інших так і зовсім уникнути можливості розплавлення активної зони.

Також ці палива можуть дозволити безпечно експлуатувати твели з більшим збагаченням та застосовувати більше вигорання.

У цьому розділі буде розглянуто вплив застосування толерантного палива на експлуатацію реакторів України та вплив на експлуатацію майбутніх малих модульних реакторів.

3.3.1 Можливості запровадження та вплив толерантного палива на експлуатацію реакторів України

На даний момент в Україні використовуються реактори типу ВВЕР-1000 та ВВЕР-440. Обидва є реакторами з водою під тиском. Саме для них розробляється толерантне паливо.

Проектною межею пошкодження твелів для матеріалів оболонки твелів із сплаву $Zr + 1\% Nb[9]$ є

- температура оболонок твелів - $1200^{\circ}C$;
- локальна глибина окислення оболонок твелів - 18 % від граничної товщини оболонки;
- частина цирконію, що прореагував, - 1 % від його маси в оболонках твелів.

Перевищення цих меж буде призводить до аварії з важким пошкодженням активної зони. Частота таких пошкоджень для українських реакторів відповідно до Загальних положень безпеки атомних станцій не повинна бути більше 10^{-4} на реактор на рік, та необхідно прагнути того, щоб значення частота не була більше 10^{-5} на реактор за рік. [10]

Температурна межа пов'язана з тим що при 1200°C спостерігається максимальна швидкість паро-цирконієвої реакції що також буде супроводжуватися виділенням додаткового тепла так як паро-цирконієва реакція є екзотермічною. Саме для зменшення теплового впливу паро-цирконієвої реакції та збільшення температурної межі палива розробляється толерантне паливо. [3].

Хромове покриття паливних оболонок майже повністю виключає окиснення цирконію взагалі. [8] Саме покриття мало впливає на нейтронний потік так як є дуже тонким (8-20 мкм). Ця технологія може бути впроваджена в ближньому майбутньому.

Оболонка Fe - Cr - Al як зазначалося вище дозволяє підвищити максимальну проектну межу для твелу до 1500 °C що обумовлюється температурою плавлення Fe - Cr - Al сплаву. Однак для ВВЕР ця оболонка не є доцільною через підвищений переріз поглинання нейтронів, що знизить розмножуючі властивості оболонки та потенційно підвищена можливість до проникнення газів поділу, а саме трітійу. [5] Така оболонка буде потребувати підвищення збагачення палива для компенсації вищого поглинання, що значно підвищить вартість палива та підвищить складність зберігання відпрацьованого палива. [3]

Оболонка SiC може дозволити набагато підвищити проектні межі експлуатації, висока температурна стійкість та стійкість до окислення з виділенням водню, може підняти максимальну проектну температуру до 2000-2500 °C ближче до температури плавлення самого палива.[3] Також стійкість цього палива може забезпечити експлуатування до більшого вигорання. Однак необхідно зазначити, що через низький коефіцієнт теплопровідності, середня температура оболонки буде вища за цирконієву оболонку. [11]

Легування палива також дозволить дещо підвищити вигорання через зменшену жорсткість. Ця технологія одна з найперспективніших та вже впроваджується на деяких реакторах в США.

Глибина вигорання визначається працездатністю паливних елементів, яка, в свою чергу, визначається надійністю твелів. Міцнісні властивості оболонки твелів погіршуються в часі під впливом теплового навантаження, нейтронів, а також теплоносія. Зміна в ході вигорання геометрії палива зображена на рисунку Е.3 додатку Е. Надійність твелів залежить від:

- виду палива і теплоносія,
- матеріалу оболонки і
- конструкції твела.

Тобто для підвищення вигорання необхідно використовувати змінену структуру палива.

Збільшене збагачення не є доцільним для поточних реакторів в Україні, через велику вартість та збільшені потреби щодо зберігання відпрацьованого палива.

Принципові зміни палива є не доцільними для реакторів ВВЕР. Екструдоване металеве паливо через високу вартість та дуже ранню стадію розробки, та може не встигнути до виводу з експлуатації. А TRISO передбачає зовсім іншу активну зону та придатне для виключно нових проектів реакторів.

3.3.2 Можливості запровадження та вплив толерантного палива на експлуатацію майбутніх малих модульних реакторів

У малих модульних реакторах (ММР) ця проблема толерантності до аварій є меншою проблемою, ніж у реакторах великої потужності через їх загальну та притаманну безпеку, однак для деяких типів реакторів необхідно враховувати їхні особливі температурні умови, наприклад для високотемпературних газових реакторів або що стосується водяних реакторів під тиском, що використовують природну циркуляцію.

Для реакторів з водою під тиском з примусовою циркуляцією, в загальному, можна застосувати ті самі критерії що до реакторів типу ВВЕР.

Доцільно також використовувати таблетки з нітриду урану, через їх підвищену щільність можна зменшити розміри активної зони. При деяких модифікаціях елементів TRISO їх можна застосовувати у реакторах з водою під тиском.[12]

Для реакторів з водою під тиском з природною циркуляцією треба мати покращену стійкість до температурних перепадів, так як в таких реакторах вони набагато більше за реактори з примусовою циркуляцією. Для таких реакторів окрім вище зазначених змін також має сенс використовувати екструдоване паливо через його покращенні тепломеханічні характеристики.

Для високотемпературних реакторів є дуже важливою температурна стійкість тому для них розробляються багат шарові паливні елементи аналогічні TRISO.

Також на малих модульних реакторах легше впроваджувати більш довгі паливні цикли та більше збагачення через їм притаманну безпеку. Ці зміни можуть дозволити зменшити об'єм відпрацьованого палива у сховищах та дозволить станції перебувати на потужності довше.

Деякі змін що пропонуються в розрізі толерантного палива вже закладені в проектах MMP.

Так наприклад в паливі Framatome 17x17 GAIA [13] [14] для реактора з водою під тиском Holtec International SMR-160 використовується легування паливних таблеток. А для високотемпературних газових реакторів таких як HTR-PM та майбутнього XE-100 використовується паливо TRISO, а також в мікро-реакторі на теплових трубках Westinghouse eVinci. [15]

3.4 Оцінка впливу толерантного палива з використанням розрахункового коду WIMS

У цьому розділі буде проведено оцінку впливу зміни оболонки в рамках технологій толерантного палива, з використанням розрахункового

коду WIMS. Оцінка впливу буде аналізуватися на прикладі коефіцієнта розмноження у нескінченості.

3.4.1 Вхідні дані

Для розрахунку використовується проектні характеристики реактора ВВЕР-1000 (В-320). [16]. Збагачення палива 4,4%. Використовується цирконієвий сплав Zr + 1 % Nb. Його густина:

$$\rho(\text{Zr} + 1 \% \text{Nb}) = 6400 \text{ кг/м}^3.$$

Його ядерні концентрації:

$$N(\text{Zr}) = 4,18122 \cdot 10^{-2} \text{ 1/барн},$$

$$N(\text{Nb}) = 4,14697 \cdot 10^{-4} \text{ 1/барн}.$$

В якості Fe - Cr - Al оболонки використовується сплав Kanthal АРМТ [17], в відсотковому співвідношенні 74% Fe, 5% Cr, 21% Al, з густиною:

$$\rho(\text{Fe} - \text{Cr} - \text{Al}) = 7250 \text{ кг/м}^3.$$

Ядерні концентрації Fe - Cr - Al:

$$N(\text{Fe}) = 5,7693 \cdot 10^{-2} \text{ 1/барн},$$

$$N(\text{Cr}) = 4,1980 \cdot 10^{-3} \text{ 1/барн},$$

$$N(\text{Al}) = 3,5263 \cdot 10^{-2} \text{ 1/барн}.$$

Для SiC густина:

$$\rho(\text{SiC}) = 3210 \text{ кг/м}^3.[11]$$

Ядерні концентрації SiC:

$$N(\text{Si}) = 6,9038 \cdot 10^{-2} \text{ 1/барн,}$$

$$N(\text{C}) = 1,6109 \cdot 10^{-2} \text{ 1/барн.}$$

Використані коди для розрахунку представлені в Додатку Є.

3.4.2 Результати та аналіз розрахунку

Результати розрахунку представлені в таблиці 3.1

Матеріал	Zr + 1 % Nb	Fe - Cr - Al	SiC
K _∞	1,430828	1,314899	1,431871

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку

Як можемо бачити з результатів найбільший коефіцієнт розмноження на нескінченності має карбід кремнію, і слідом за ним цирконієво-ніобієвий сплав. Залізо має найменший коефіцієнт розмноження, це як було сказано вище зв'язано з великим перерізом поглинання.

3.5 Висновки

Толерантні палива дозволяють значно підвищити безпеку ядерного реактора в аварійних ситуаціях без повної зміни проекту. Таким чином, наприклад, хромове покриття, дозволяє з мінімальним впливом загальні теплофізичні властивості підвищити надійність збірок через зменшення окислення, леговані таблетки аналогічно сприяють збільшенню стійкості палива, через зменшений тиск на оболонку.

Однак вони не є завжди доцільними та за принципом ALARA (As Low As Reasonably Achievable – низько наскільки це розумно можливо) їхнє використання не потребується через їхню вартість та складність в переобладнанні. До таких на даний момент відносяться такі запропоновані зміни як збільшення збагачення палива, або елементи TRISO.

Багато технологій знаходяться на ранніх стадіях але мають великий потенціал у покращенні експлуатаційних характеристик. Оболонка з карбіду кремнію дозволяє набагато збільшити максимальні проектні температури майже до температури плавлення паливних таблеток, також таблетки з нітриду урану дозволяють набагато збільшити щільність палива.

Совпадения

Источники из Интернета 2

1 http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE15203.html 0.86%

3 https://cpsm.kpi.ua/Doc/lections_2.pdf 0.27%

Источники из Библиотеки 1

2 **Студенческая работа** ID файла: 1000043747 Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University 0.7%