

## ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ЗНИЩЕННЯ ДАНИХ В ЕНЕРГОНЕЗАЛЕЖНИХ ТВЕРДОТІЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ

Розглянуто методи знищення даних в енергонезалежній твердотільній пам'яті. Показано, що найбільш перспективним є метод впливу імпульсним магнітним полем з обертовим вектором напруженості поля. Метод дозволяє поліпшити якість і надійність знищення даних без можливості їх відновлення, скорочує час стирання, знижує енергоспоживання і спрощує процес знищення. Запропоновано варіанти технічних засобів, що реалізують даний метод.

**Ключові слова:** магнітне поле, плаваючий затвор, знищення даних, флеш-пам'ять, енергонезалежність.

### Введення

Визначальною характеристикою розвитку сучасних цифрових технологій є зростання загального об'єму пам'яті з низьким енергоспоживанням з можливістю зберігання інформації за відсутності живлення. Для цих цілей широко використовується флеш-пам'ять (Flashmemory). Основною коміркою флеш-пам'яті є транзистор з плаваючим затвором, разом з цим, існують модифікації таких пристроїв, що розрізняються як архітектурою (NOR і NAND), так і конструктивним виконанням і способом обміну даними. Найбільш часто використовуються п'ять видів флеш-пам'яті від різних виробників. Це CompactFlash, SmartMedia, або SSFDC, MultiMediaCard, SecureDigital і MemoryStick. Флеш-пам'ять - особливий вид енергонезалежної напівпровідникової пам'яті, яка має здатність перезаписувати інформацію. На відміну від багатьох інших типів напівпровідникової пам'яті, комірка флеш-пам'яті не містить конденсаторів, а в одній комірці флеш-пам'яті можливо зберігати декілька біт інформації. Флеш-пам'ять історично походить від ROM (ReadOnlyMemory) пам'яті, і функціонує подібно RAM (Random Access Memory). Дані зберігаються в комірках пам'яті, схожих на клітинки в DRAM. На відміну від DRAM, при відключенні живлення дані у флеш-пам'яті не пропадають. Заміни пам'яті SRAM і DRAM пристроями з флеш-пам'яттю не відбувається через дві її особливості: флеш-пам'ять працює істотно повільніше і має обмеження за кількістю циклів перезапису (від 10000 до 1000000 для різних типів). Проте, основна перевага флеш-пам'яті перед жорсткими магнітними дисками і оптичними носіями полягає в тому, що флеш-пам'ять споживає значно менше енергії під час роботи (приблизно в 10-20 і більше разів). Завдяки низькому енергоспоживанню і швидкодії, флеш-пам'ять ідеально підходить для використання в якості накопичувача в таких портативних пристроях, як: цифрові фото- і відео камери, мобільні телефони, портативні комп'ютери, і т.і. [1, 2].

Принцип роботи напівпровідникових пристроїв з незалежною пам'яттю полягає в зберіганні заряду в ізолюваному затворі транзистора МДН (метал-діелектрик-напівпровідник) [1]. Якщо в ізолюваному затворі зберігається заряд, порогова напруга транзистора може змінюватися між двома протилежними значеннями "0" (або стертим станом) і "1" (або записаним станом). Зміна електричного заряду, що міститься у такій комірці пам'яті, спричиняється прикладенням певної напруги до затвору, значення якої лежить між двома можливими пороговими напругами. В одному стані, транзистор проводить струм, у той час як в іншому, транзистор замкнений. Коли електроживлення відключається, заряд залишається збереженим в ізоляторі затвора, що забезпечує енергонезалежність пристрою.

Зберігання заряду в ізолюваному затворі транзистора МДН може здійснюватися двома способами, які призводять до поділу енергонезалежних напівпровідникових пристроїв пам'яті на два основні класи.

Перший клас пристроїв заснований на зберіганні заряду в провідному або напівпровідному шарі, який повністю оточений діелектриком, зазвичай окисом кремнію. Так як цей шар повністю електрично ізолюваний, цей тип пристрою зазвичай називається транзистором з плаваючим затвором [3].

У другому класі пристроїв, заряд зберігається на дискретних центрах захоплення (пастках) відповідного діелектричного шару - прилади з центрами захоплення. Найбільш просунуті пристрої у цій категорії – транзистори МНОН (метал - нітрид кремнію - оксид кремнію - напівпровідник). У такій структурі ізолятор складається з шару нітриду кремнію, розташованому поверх дуже тонкого шару кремнієвого окисного шару [3].

У науково-технічній літературі дуже мало відомостей про розробку пристроїв знищення даних, що зберігаються в твердотільній пам'яті.

Метою цієї роботи є підвищення якості та надійності знищення даних в твердотільних енергонезалежних запам'ятовуючих пристроях (флеш-пам'яті).

### **Основні методи знищення записаної у флеш-пам'яті інформації**

Виходячи з фізичних принципів функціонування пристроїв напівпровідникової енергонезалежній пам'яті можуть бути запропоновані наступні методи знищення записаної в ній інформації [4]:

1. Фізичне пошкодження пристрою механічними методами (удар, прокол і т.д.).
2. Нагрівання пристрою вище деякої температури. Значення температури, вище якої відбувається пошкодження інформації, визначається спеціальними дослідженнями. Нагрівання можна здійснити, наприклад, за допомогою НВЧ випромінювання.
3. Подання на виводи мікросхеми електричної напруги, яка істотно перевищує допустимі значення. Цей метод можна застосовувати для мікросхем, що мають зовнішні електричні виводи шин даних або адреси, тобто з паралельним доступом. У цьому випадку подача високої напруги на ці виводи дозволяє або повністю знищити систему адресації мікросхеми, або записати в усі осередки логічний нуль. В обох випадках прочитати існуючу раніше інформацію буде неможливо. Даний метод може виявитися обмежено застосовним у разі мікросхем з послідовним доступом (USB). Пристрій флеш-пам'яті містить в цьому випадку контролер, що забезпечує сполучення мікросхеми пам'яті з USB портом. У цьому випадку подача високої напруги може привести до пошкодження деяких зв'язків усередині мікросхеми, не пошкодивши при цьому записану інформацію.
4. Більш надійним методом знищення інформації в пристрої флеш-пам'яті є вплив змінногомагнітного поля. У цьому випадку, відповідно до законів електродинаміки [5], у фізичному середовищі (в напівпровідниковому кристалі пам'яті) виникає велике за величиною вихрове електричне поле, яке пошкоджує всю внутрішню структуру мікросхеми і тим самим знищує записані в ній дані.

Можливість створення уніфікованих пристроїв для знищення даних у флеш-пам'яті пов'язана з останнім методом.

Такі пристрої утворюють магнітне поле, яке впливає на напівпровідниковий носій з даними, що записані у вигляді зарядів, поміщених на плаваючий затвор транзистора. Змінне магнітне поле індукуює вихрові струми, які збуджують заряди на затворах і створюють напругу на керуючих затворах. Це призводить до залишкової провідності і змінює порогову напругу для переносу носіїв через потенційний бар'єр.

### Імпульсне магнітне поле з обертовим вектором напруженості

В якості магнітного поля, що буде діяти на твердотільний енергонезалежний носій, доцільно використовувати імпульсне магнітне поле з обертовим вектором напруженості.

При зміні напрямку вектора такого затухаючого магнітного поля частотою  $\omega$ , перпендикулярного основі носія, з  $90^\circ$  на  $270^\circ$ , воно проникає в провідник і напівпровідник, індукуючи в них змінне електричне поле. Це поле, в свою чергу, викликає появу вихрових струмів, які приводять у стан збудження заряди на затворах. При подальшій зміні напрямку вектора поля з'являється інше загасаюче магнітне поле з амплітудним значенням напруженості, що перевищує більш ніж у два рази напруженість попереднього поля. При цьому поле, яке змінює свій напрямок зі  $180^\circ$  на  $360^\circ$  і є паралельним основі носія з частотою, що лежить в межах від  $2\omega$  до  $4\omega$ , і яке також проникає в провідник і напівпровідник і індукує в них змінне електричне поле, також наводить вихрові струми, збуджуючи при цьому заряди на затворах. При одночасному впливі двох затухаючих магнітних полів з напрямками векторів, що змінюються, вони складаються, утворюючи загасаюче магнітне поле з обертовим вектором напруженості і кутом  $\alpha$ . Значення цього кута змінюється за законом додавання магнітних полів. Щільність вихрових струмів розподіляється за тим же законом, що і збуджуюче електричне поле. В результаті змінюються вольт-амперні характеристики напівпровідникових елементів, а на керуючих затворах з'являється додаткова висока напруга, що спричиняє залишкову провідність. При подальшому обертанні вектора сумарного магнітного поля, що діє на носій інформації, на керуючому затворі формується висока негативна напруга, що змінює порогову напругу і носії-електрони долають потенційний бар'єр, приводячи до необоротного стирання збережених даних.

Ще кращий ефект спостерігається, якщо впливати імпульсним магнітним полем з обертовим вектором напруженості спочатку із зростаючим значенням напруженості, а потім - з її зменшенням до значення, що створює опційну негативну напругу на керуючому затворі.

Цей процес можна виконати поетапно (рис. 1).

На першому етапі ( $T_1$ ) формується максимальна напруженість імпульсного магнітного поля, у два рази більша від напруженості індукційного поля і здійснюється поворот на певний кут вектора напруженості.

На другому етапі ( $T_2$ ) забезпечується зменшення значення напруженості імпульсного магнітного поля з одночасним обертанням вектора напруженості до значення напруженості індукційного поля, що створює негативну напругу на керуючому затворі, яка більше порогового значення.

На третьому етапі ( $T_3$ ) забезпечується подальше зменшення значення напруженості імпульсного магнітного поля з одночасним обертанням вектора напруженості, до значення напруженості індукційного магнітного поля, що утворює напругу на керуючому затворі, рівну пороговому значенню.

Створити імпульсне магнітне поле з обертовим вектором напруженості можна різними способами. Наприклад, таке поле можна сформувати шляхом підсумовування в твердотільному носії, щонайменше, двох імпульсних магнітних полів.

Закон зміни цих полів може бути гармонійним або прямокутним з різним періодом коливань і загасанням по експоненті.

Важливою характеристикою при створенні сумарного імпульсного магнітного поля є орієнтація векторів напруженості. При цьому можливі багаточисельні варіанти, наприклад, залежно від числа взаємодіючих імпульсних магнітних полів (рис. 2).

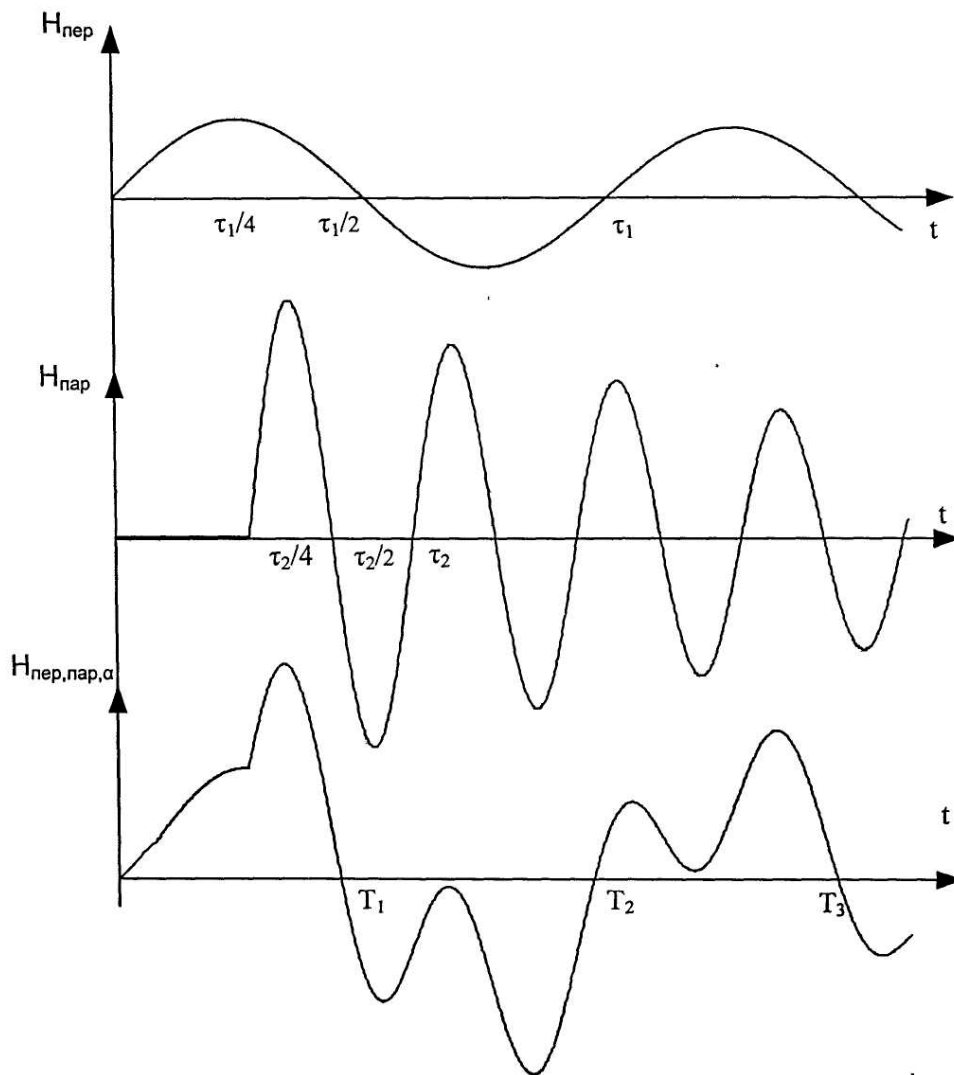


Рис. 1. Поетапна дія імпульсного магнітного поля

Створити імпульсне магнітне поле з обертовим вектором напруженості можна різними способами. Наприклад, таке поле можна сформувати шляхом підсумовування в твердотільному носії, щонайменше, двох імпульсних магнітних полів.

Закон зміни цих полів може бути гармонійним або прямокутним з різним періодом коливань і загасанням по експоненті.

Важливою характеристикою при створенні сумарного імпульсного магнітного поля є орієнтація векторів напруженості. При цьому можливі багаточисельні варіанти, наприклад, залежно від числа взаємодіючих імпульсних магнітних полів (рис. 2).

У найбільш простому випадку, коли підсумовуються два імпульсних магнітних поля, для забезпечення обертання в початковий момент часу, спочатку впливають на носій полем, орієнтованим перпендикулярно площині основи носія, а потім - із затримкою, що знаходиться в межах від  $\tau_1/4$  до  $\tau_1/2$ , впливають на носій магнітним полем, орієнтованим паралельно площині основи, або навпаки.

Обертання вектора напруженості магнітного поля може бути здійснено на різні кути, однак, доцільно, щоб вони лежали в діапазоні від  $90^\circ$  до  $540^\circ$ .

Для підвищення надійності знищення даних в твердотільному носії вплив на нього імпульсним магнітним полем з обертовим вектором напруженості може бути повторено неодноразово.

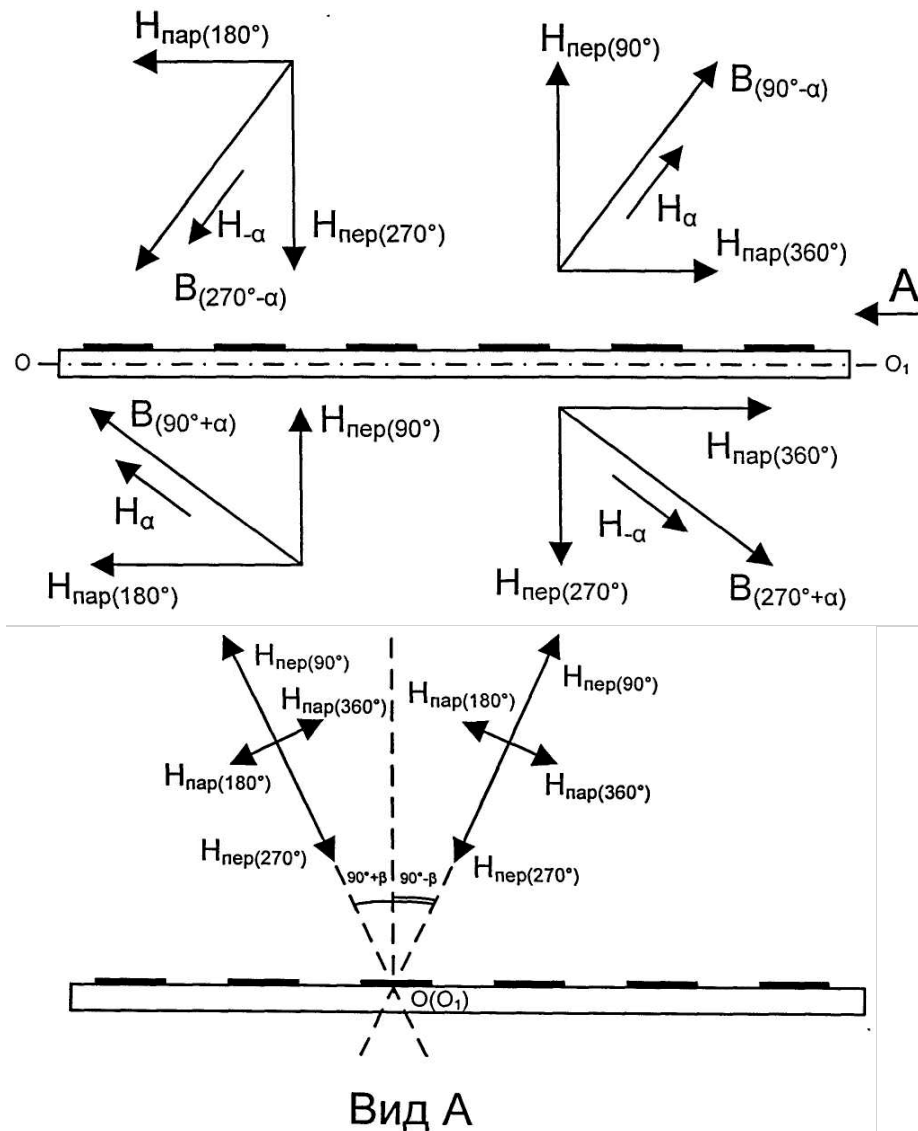


Рис. 2. Створення імпульсного магнітного поля з обертовим вектором напруженості

Варіант блок-схеми пристрою для знищення записаних даних наведений на рис. 3.

Пристрій формування магнітного поля складається з трьох контурів, що містять соленоїди і конденсатори (рис. 4). У першому контурі (I) соленоїд складається з двох котушок індуктивності. Третій контур (III) складається з соленоїда і конденсатора, пов'язаного із з'єднувачем (коннектором), а соленоїди першого і другого контуру (II) розташовані так, що вектори, створюваних ними магнітних полів, в області розміщення твердотільної пам'яті знаходяться під кутом  $\beta$  або  $90^\circ+\beta$  (рис. 2), а соленоїд третього контуру розміщений в порожнині першого контуру, куди введений датчик амплітудно-часових параметрів магнітного поля, створюваного соленоїдом другого контуру.

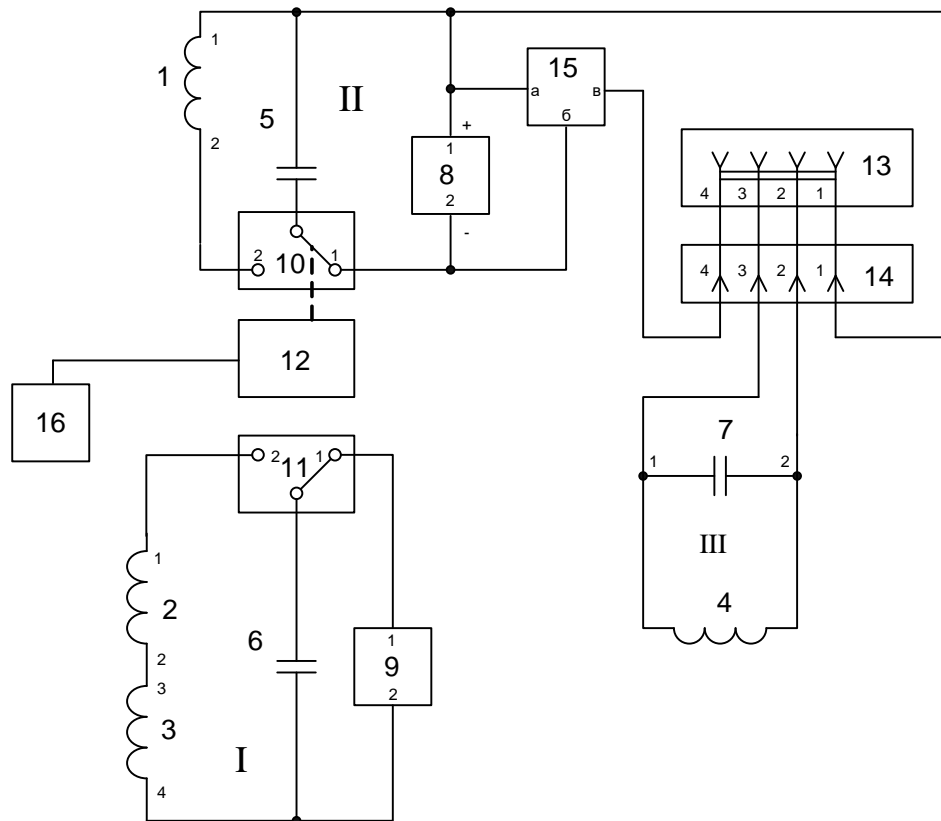


Рис. 3. Блок-схема пристрою знищення даних в твердотільній пам'яті: 1, 2, 3, 4 - соленоїди; 5, 6, 7 - конденсатори; 8, 9 - джерела живлення; 10, 11 - ключі; 12 - блок управління; 13 - чотириохконтактний з'єднувач (конектор); 14 - кабель; 15 - дільник; 16 - датчик

Вихід цього датчика підключений до входу блоку управління, при цьому соленоїд другого контуру встановлений так, що вектор, створюваного ним магнітного поля, в області розміщення котушки індуктивності третього контуру знаходиться під кутом  $90^\circ$ .

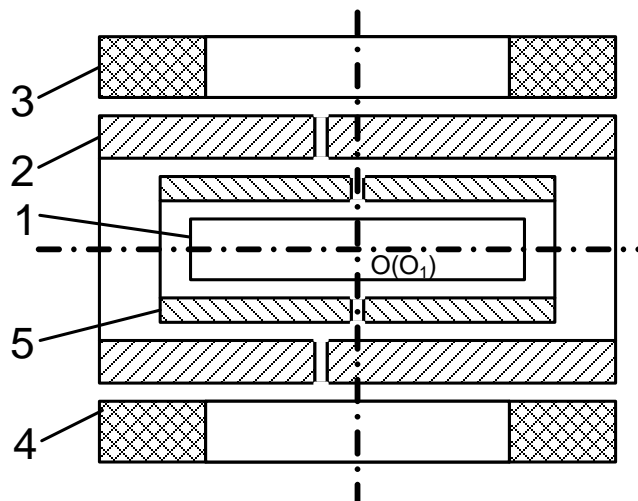


Рис. 4. Взаємне розташування котушок індуктивності  
1 - флеш-пам'ять; 2 - котушка індуктивності другого контуру; 3, 4 - котушки індуктивності першого контуру; 5 - котушка індуктивності третього контуру.

## Висновок

Проаналізовано відомі методи знищення даних в енергонезалежній твердотільній пам'яті. Показано, що найбільш перспективним є метод впливу імпульсним магнітним полем з обертовим вектором напруженості поля. Метод дозволяє поліпшити якість і надійність знищення даних без можливості їх відновлення, скорочує час стирання, знижує енергоспоживання і спрощує процес знищення. Запропоновано варіанти технічних засобів, що реалізують даний метод.

## Література

1. Кузьмин А.В., Flash-память и другие современные носители информации. М.: Горячая Линия – Телеком, 2005.– 80 с.
2. Розоринов Г.Н., Брягин О.В., Неня Е.В. Современные магнитные накопители для систем обработки акустической информации // Реєстрація, зберігання та обробка даних. – 2003. – Т. 5, № 3. – С. 91–105.
3. Сенкевич Г.Е. Искусство восстановления данных. Аппаратные средства. – Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2011. – 304 с.
4. Gritsenko V. A., Nasyrov K. A., Novikov Yu. N. Aseev A. L.. High-Permittivity-Insulator EEPROM Cell Using  $Al_2O_3$  and  $ZrO_2$  // Russian Microelectronics, 2003, 32, № 2, p. 90.
5. Питер Ю, Мануэль Кардона. Основы физики полупроводников. – Пер. с англ. И. И. Решинной. Под ред. Б. П. Захарчени. 3-е изд., испр. и доп.: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 560 с. .

Надійшла 02.09.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Железняк В.К.