

РОЗРАХУНОК КОАКСІАЛЬНОГО ЛІНІЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ВИКРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ELCUT

Теряєв В.І., доц. к.т.н., Клименко А.О., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Доцільність використання лінійного електроприводу обумовлена можливістю усунення передатних пристроїв для перетворення обертального руху в поступальний. В даній роботі досліджуються характеристики існуючого коаксіального лінійного асинхронного двигуна (ЛАД). Основна увага приділена проектно-конструкторській розробці ЛАД, розрахунку його магнітопроводу та моделюванню картини електромагнітного поля.

Мета роботи. Розрахувати основні параметри та дослідити закономірності розподілення магнітного поля в коаксіальному лінійному асинхронному двигуні за допомогою програмного забезпечення ELCUT [1].

Матеріали і результати досліджень. Електроприводи на основі ЛАД знаходять широке застосування в промисловості і на транспорті. До лінійних зазвичай відносять двигуни з поступальним рухом вторинного або первинного елемента, а також низькошвидкісні дугостаторні і дискові двигуни з обертальним рухом вторинного елемента. На рисунку 1 приведена узагальнена класифікація ЛАД [2, 3]. Недоліком лінійних асинхронних двигунів є низький ККД та коефіцієнт потужності і пов'язані з цим втрати енергії, перш за все, у вторинному елементі.

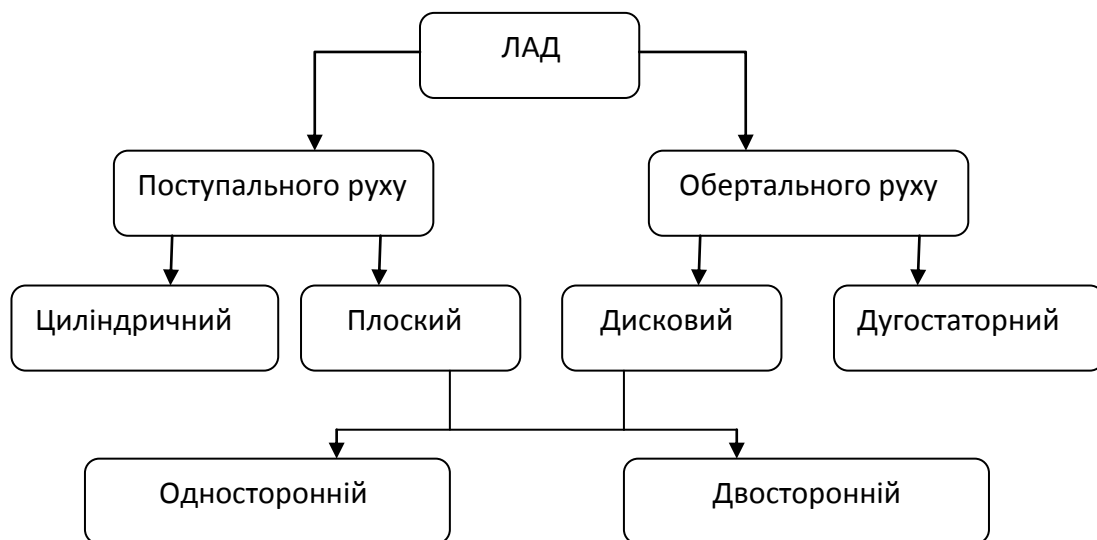


Рисунок 1 – Класифікація лінійних асинхронних двигунів.

Поняття про конструкцію коаксіального (циліндричного) лінійного асинхронного двигуна можна отримати, якщо розгорнути статор обертального асинхронного двигуна в площину, а потім згорнути його в трубку в поперечному напрямку. При цьому вектор намагнічувальних сил обмотки буде

лінійно переміщатися уздовж розгортки статора, тобто при цьому утворюється не обертове (як в звичайних двигунах), а біжуче електромагнітне поле.

Конструкція досліджуваного коаксіального ЛАД, а також схема його обмотки показані на рисунку 2. Статор двигуна представляє собою полий циліндр, в якому зі сталевих шайб, що зображені на рисунку 2,а, набрана необхідна кількість пазів. В цих пазах закладена обмотка, в кожному пазу по одній фазі, як показано на рисунку 2,б.

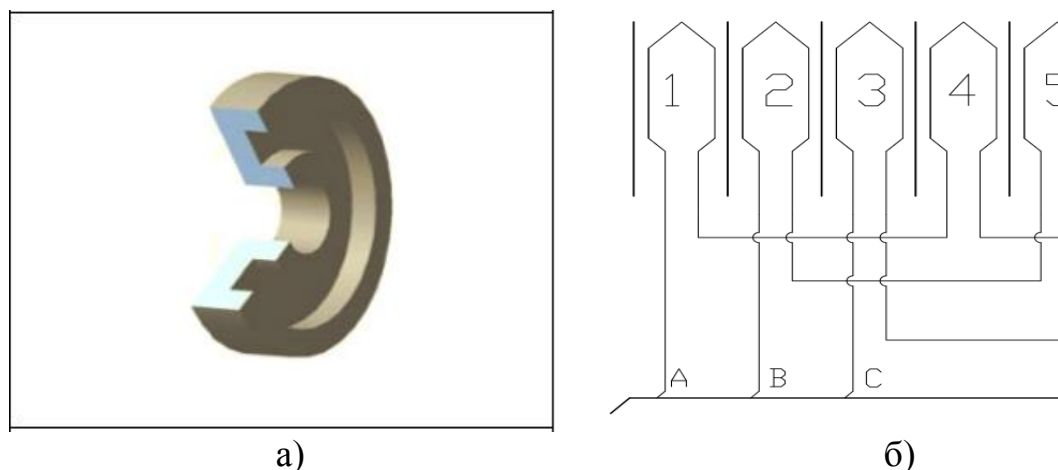


Рисунок 2 – Конструкція коаксіального ЛАД: а) вигляд шайби індуктора; б) схема розподілення обмотки в пазах двигуна

Згідно з [4] аналіз магнітного поля змінних струмів використовується для розрахунку магнітних полів, наведених струмами, що синусоїдально змінюються в часі, і навпаки, для розрахунку струмів, індуктованих змінним магнітним полем в провідному середовищі.

Нелінійне формулювання завдання магнітного поля змінних струмів дозволяє з певною точністю врахувати вплив насичення феромагнітного осердя. У зв'язку з використаними спрощеннями, нелінійна задача розрахунку магнітного поля змінних струмів не завжди дає точні локальні значення магнітного поля і вихрових струмів в кожній точці моделі. Однак, в практичних завданнях вона дозволяє отримати хороші оцінки для таких інтегральних величин як енергія, механічна сила, потокозчеплення.

Для дослідження характеристик коаксіального ЛАД було використано сучасний програмний комплекс ELCUT для автоматизованого інженерного моделювання електромагнітних, теплових і механічних процесів методом кінцевих елементів.

Геометрична модель коаксіального ЛАД представлена в програмі чотирма з половиною пазами верхньої частини двигуна. Попередньо був заданий осесиметричний тип задачі. Модель складається з наступних основних блоків: чотирьох з половиною пазів (рис. 3,а), магнітопроводу (рис. 3,б), вторинного елемента (рис. 3,в) та повітряного проміжку, що одночасно є границею побудованої геометричної моделі (рис. 3,г). Згідно зі схемою обмотки двигуна в кожному пазу розташовується по одній фазі в порядку А-В-С-А-В, кут між ЕРС фаз 120 електричних градусів.

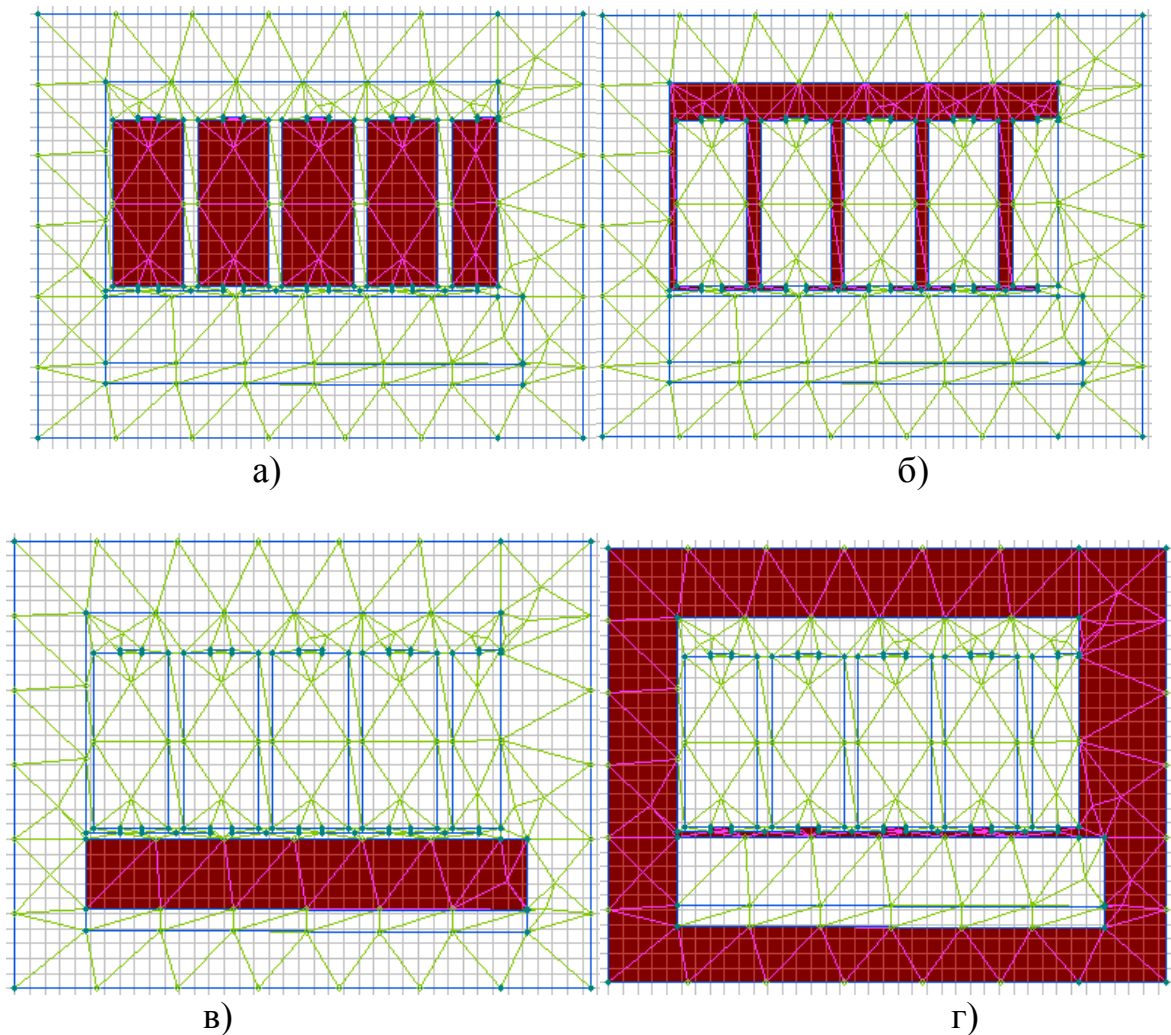


Рисунок 3 – Блоки геометричної моделі в ELCUT: а) пази; б) індуктор; в) вторинний елемент; г) повітряний проміжок

Для побудови осесиметричної моделі магнітного поля змінних струмів використовувалися наступні вихідні дані:

- повна намагнічувальна сила пазу – 284 А·вит;
- відносна магнітна проникність повітря - 1;
- електропровідність пазу 59500000 См/м;
- електропровідність вторинного елемента 33000000 См/м;
- номінальне розрахункове тягове зусилля двигуна – 160 Н.

Крива намагнічування сталі магнітопроводу попередньо була задана залежністю, показаною на рисунку 4. Оскільки всі деталі коаксіального ЛАД виготовлені суцільними із конструкційної сталі, максимальне значення індукції в магнітопроводі не перевищує 1,6 Тл.

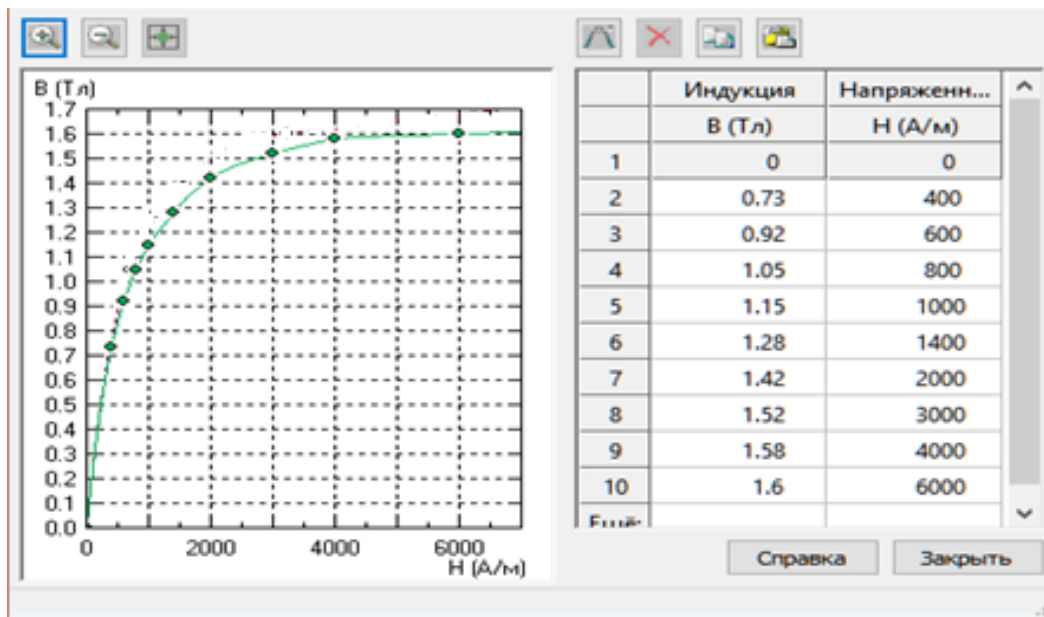


Рисунок 4 – Крива намагнічування сталі в моделі

Результати моделювання. На рисунку 5 показано розподілення індукції та напруженості поля для частини моделі: чим темніша ділянка – тим більша індукція та напруженість поля. На рисунку 5,а максимальне середньоквадратичне значення індукції складає 0.32 Тл і досягається в ніжках зубців. Можна зробити висновки, що найбільша напруженість поля спостерігається на ділянках відкриття пазів, а індукція – в ніжках зубців.

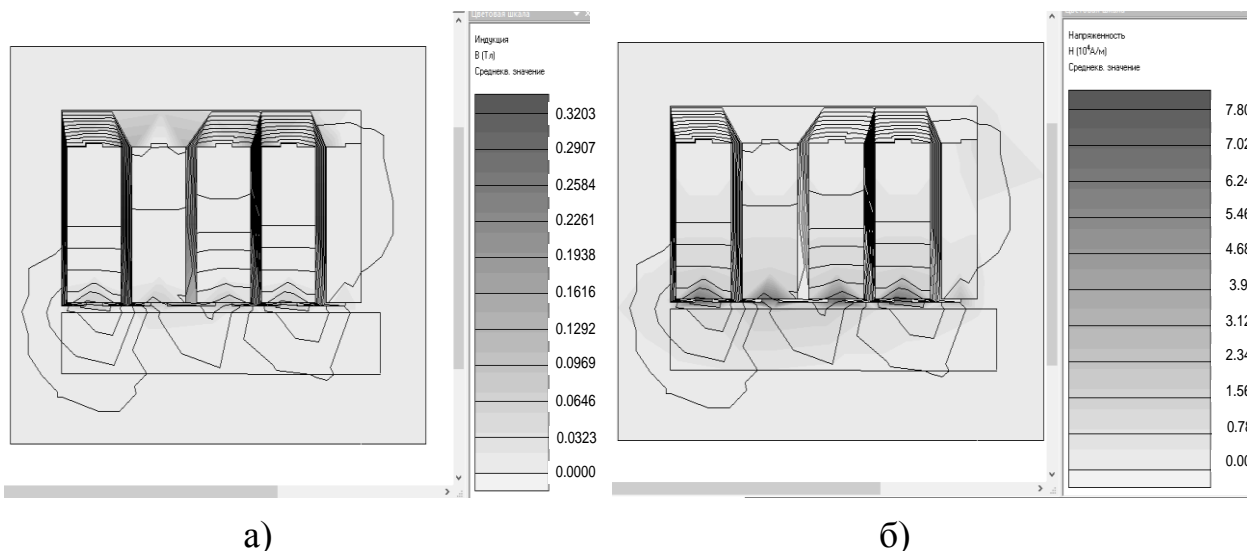


Рисунок 5 – Графіки розподілення: індукції (а) та напруженості (б) електромагнітного поля коаксіального ЛАД

Графіки розподілення напруженості поля, індукції та магнітного потоку вздовж визначеного контуру повітряного зазору ЛАД в початковий момент часу представлені на рисунках 6 та 7. Максимальне значення індукції в зазорі складає 0.09 Тл, а магнітний потік не перевищує $2.9 \cdot 10^{-4}$ Вб. Ефект ослаблення (затухання) магнітного поля в збільшеному зазорі призводить до збільшення магнітного потоку розсіювання ЛАД у порівнянні з звичайними обертовими

двигунами. Це, разом зі збільшеним повітряним зазором, призводить до низького ККД і коефіцієнту потужності двигуна.

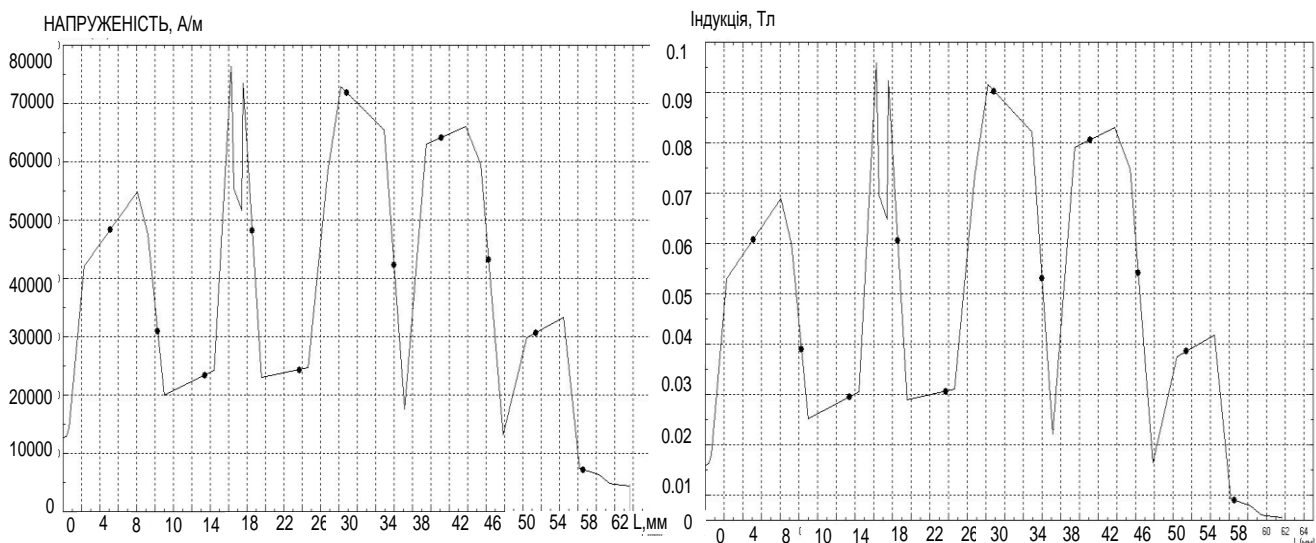


Рисунок 6 – Графіки розподілу напруженості магнітного поля та індукції магнітного потоку вздовж повітряного зазору двигуна

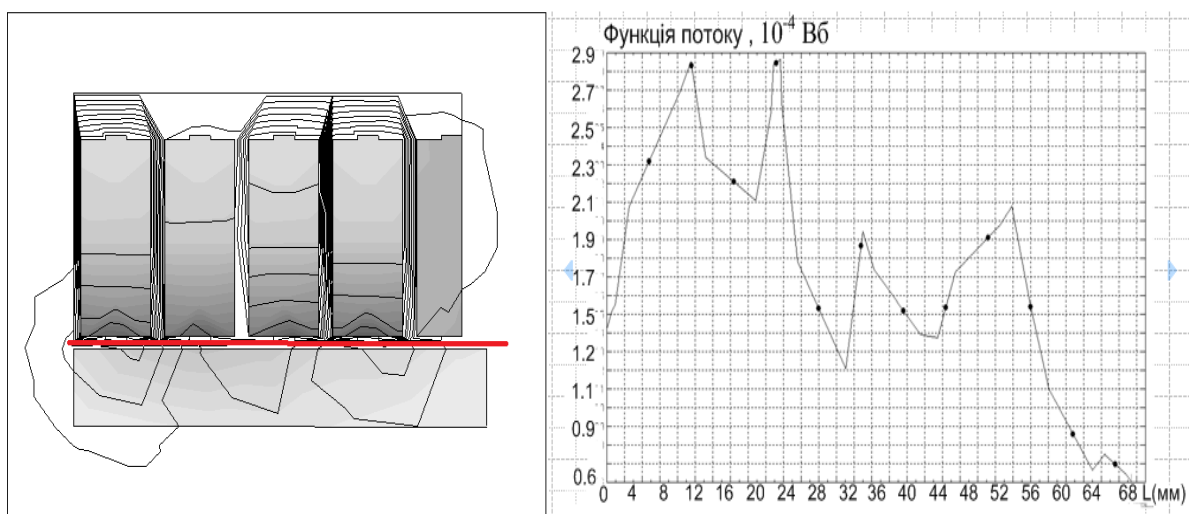


Рисунок 7 – Вигляд контуру повітряного зазору двигуна та графік магнітного потоку вздовж нього в початковий момент часу

Особливості характеристик коаксіального ЛАД пов'язані зі специфікою електромагнітних процесів, які виникають через розімкненість його магнітопроводу, а також з ефектами «входу-виходу», обумовленими переходом елементарних провідних контурів вторинного елемента з крайової зони в активну на набігаючому кінці індуктора та з активної зони в крайову на його збігаючому кінці [2]. Розрив магнітного кола призводить до відхилення від синусоїдальної форми розподілу магнітного потоку в ярмі та індукції в повітряному проміжку. Викривлення картини магнітного поля погіршує тягові та енергетичні характеристики ЛАД.

Висновки. Особливості конструкції магнітної системи та обмоток коаксіального ЛАД, пов'язані з розімкненістю магнітопроводу, призводять до виникнення кінцевих ефектів. Явища «входу-виходу» супроводжуються появою індукованих перехідних складових струмів і додаткових втрат навіть при русі вторинного елемента з синхронною швидкістю. Виникаючи при цьому зусилля можуть бути як гальмівними, так і рушійними. Це викликає появу додаткових складових струмів і вторинних втрат біля кінців сердечника, зниження ККД і тягового зусилля ЛАД. Через нерівномірність розподілу поля вздовж індуктора різні фази знаходяться в неоднакових магнітних умовах, що викликає асиметрію ЕРС в фазах, викривлення картини поля і виникнення вищих гармонік. Спотворення картини магнітного поля машини погіршує її тягові та енергетичні характеристики, наявність вищих гармонік збільшує втрати в сталі.

Друга особливість ЛАД пов'язана з конструктивною необхідністю встановлення порівняно великих зазорів між статором та вторинним елементом. Збільшена величина повітряного зазору призводить до зростання критичного ковзання, зниження жорсткості механічних характеристик двигуна та збільшення потоків розсіювання. В результаті магнітопровід машини переважно знаходиться у насиченому стані, що ускладнює процеси керування ЛАД.

Всі перераховані фактори викликають погіршення тягових, енергетичних та регулювальних характеристик ЛАД і вказують на необхідність ретельного вивчення в процесі проектування лінійних електричних машин.

Перелік посилань

1. Сайт розробника програми ELCUT URL: <http://ELCUT.ru/index.htm>
2. Математические модели линейных индукционных машин на основе схем замещения: Учебное пособие / Ф.Н. Сарапулов, С.Ф. Сарапулов, П. Шымчак. Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2001. - 236 с.
3. Электропривод с линейными асинхронными двигателями / М.М. Соколов, Л.К. Сорокин. - М.: изд-во Энергия, 1974. - 135 с.
4. Методы расчета электрических и магнитных полей: учебный комплект / В.Э. Фризен, И.В. Черных, С.А. Бычков, Ф.Е. Тарасов. – Екатеринбург : УрФУ, 2014. – 176 с.