

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

На правах рукопису

ЛІТКОВЕЦЬ СЕРГІЙ ПЕТРОВИЧ

УДК 621.315.1.024:621.311.6

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ СТАТИЧНИХ ТИРИСТОРНИХ
КОМПЕНСАТОРІВ З ПРИМУСОВОЮ КОМУТАЦІЄЮ ТА
ПОФАЗНИМ КЕРУВАННЯМ РЕАКТИВНОЮ ПОТУЖНІСТЮ**

Спеціальність 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Петухов Микола Васильович
кандидат технічних наук, доцент

Луцьк – 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	14
1.1 Порівняльний аналіз схем статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності з примусовою комутацією	14
1.2 Способи та засоби керування статичними тиристорними компенсаторами з примусовою комутацією	21
1.3 Аналіз методів дослідження енергетичних процесів в статичних тиристорних компенсаторах з примусовою комутацією	27
1.4 Висновки по розділу 1. Постановка задач дослідження	37
РОЗДІЛ 2 ВДОСКОНАЛЕННЯ СТАТИЧНИХ ТИРИСТОРНИХ КОМПЕНСАТОРІВ З ПРИМУСОВОЮ КОМУТАЦІЄЮ ТА РІЗНИМИ РЕЖИМАМИ ЗАЗЕМЛЕННЯ НЕЙТРАЛІ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	42
2.1 Вдосконалення системи компенсації реактивної потужності для статичного тиристорного компенсатора з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю	42
2.2 Дослідження математичної моделі статичного тиристорного компенсатора з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю у разі його живлення синусоїдною напругою	45
2.3 Оптимізація режимів роботи статичного тиристорного компенсатора з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю у разі його живлення прямокутною напругою	52
2.4 Вдосконалення регулятора реактивної потужності для статичного тиристорного компенсатора з примусовою комутацією та ізольованою нейтраллю	72
2.5 Дослідження енергетичних процесів в статичному тиристорному компенсаторі з примусовою комутацією та ізольованою нейтраллю	75

2.6 Висновки по розділу 2	86
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ СТАТИЧНОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА З ПРИМУСОВОЮ КОМУТАЦІЄЮ ТА КОМПЕНСОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ ЗА НАЯВНОСТІ ВОЛЬТОДОДАВАННЯ	88
3.1 Вдосконалення статичного регулятора реактивної потужності для статичного тиристорного компенсатора з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю за наявності вольтододавання	88
3.2 Дослідження математичної моделі статичного тиристорного компенсатора з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю за наявності вольтододавання під час його живлення синусоїдною напругою	92
3.3 Інтегральні показники енергетичного процесу статичного тиристорного компенсатора з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю за наявності вольтододавання під час його живлення прямокутною напругою	100
3.4 Висновки по розділу 3	117
РОЗДІЛ 4 БАГАТОКООРДИНАТНЕ КЕРУВАННЯ СТАТИЧНИМИ ТИРИСТОРНИМИ КОМПЕНСАТОРАМИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ З ПРИМУСОВОЮ КОМУТАЦІЄЮ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	119
4.1 Метод багатокоординатного керування статичними тиристорними компенсаторами реактивної потужності з примусовою комутацією та різними режимами заземлення нейтралі	119
4.2 Розроблення схеми керування статичним тиристорним компенсатором реактивної потужності з примусовою комутацією для мереж з компенсованою нейтраллю	135
4.3 Схема керування статичним тиристорним компенсатором з примусовою комутацією для мереж з ізольованою нейтраллю та алгоритм її роботи	141

4.4 Вдосконалення схеми керування статичним тиристорним компенсатором реактивної потужності з примусовою комутацією для мереж з компенсованою нейтраллю за наявності вольтододавання	146
4.5 Висновки по розділу 4	153
ВИСНОВКИ	155
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	158
ДОДАТОК А Розрахункові формули для визначення показників енергетичного процесу СТК з компенсованою нейтраллю у разі живлення його синусоїдною напругою (базовий варіант)	173
ДОДАТОК Б Розрахункові формули для визначення показників енергетичного процесу СТК з компенсованою нейтраллю у разі живлення його прямокутною напругою	177
ДОДАТОК В Розрахункові формули для визначення показників енергетичного процесу СТК з ізольованою нейтраллю у разі живлення його прямокутною напругою	181
ДОДАТОК Г Розрахункові формули для визначення показників енергетичного процесу СТК з компенсованою нейтраллю та вольтододаванням у разі живлення його синусоїдною напругою	186
ДОДАТОК Д Розрахункові формули для визначення показників енергетичного процесу СТК з компенсованою нейтраллю та вольтододаванням у разі живлення його прямокутною напругою	191
ДОДАТОК Е Акти впровадження результатів досліджень	195

ВСТУП

Актуальність теми. У промисловому виробництві за останні роки спостерігається щораз більший ріст споживання реактивної потужності порівняно з активною та збільшується частка різко змінних навантажень, тому проблема компенсації реактивної потужності має особливу значущість [1]. Статичні тиристорні компенсатори (СТК) як джерела реактивної потужності – це ефективний інструмент для вирішення проблем передачі та розподілу електричної енергії, пов'язаних з великими та швидкими коливаннями реактивної потужності [2]. Для більшості джерел реактивної потужності характерною рисою є залежність питомих втрат активної потужності від режиму роботи [3].

Для різко змінних навантажень характерними є несиметрія споживаної потужності по фазах живлячої напруги й кидки реактивної потужності [4]. Коливання напруги, які при цьому виникають, негативно впливають на споживачів та збільшують втрати електричної енергії. Забезпечити допустимий рівень коливань напруги та зменшити втрати електричної енергії можна шляхом швидкодіючої пофазної компенсації реактивної потужності за допомогою СТК з примусовою комутацією.

Для підвищення економічної ефективності використання СТК як джерел реактивної потужності необхідно зменшити втрати активної потужності та напруги в мережі, вирівняти рівні напруг та симетрувати їх, здійснити перерозподіл реактивного навантаження, забезпечити плавність регулювання потужності та можливість роботи з номінальною потужністю як у режимі споживання, так і у режимі генерування, забезпечити незалежність потужності від відхилень напруги від її номінального значення [5]. Крім того, необхідно збільшити швидкодію статичного компенсатора та зменшити втрати питомої активної потужності в ньому та в електричній мережі [6]. Це можливо реалізувати за допомогою оптимізації режимів роботи СТК з примусовою комутацією та пофазним керуванням реактивною потужністю (з

незалежним регулюванням її значення та знаку в кожній фазі) і, тим самим, виконати вимоги енергопостачальних компаній, споживачів і Закону України «Про енергозбереження» [7].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основний зміст роботи становлять результати досліджень, які проводились відповідно до наукового напрямку кафедри «Електропостачання» Луцького національного технічного університету. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до «Програми наукових досліджень і розробок Міністерства освіти і науки України за пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки» у рамках фінансування держбюджетної науково-дослідної роботи «Застосування статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності з параметричною модуляцією індуктивності для зменшення втрат електроенергії», № державної реєстрації 0113U000336. Автор брав участь у виконанні вказаних вище робіт як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності використання статичних тиристорних компенсаторів з примусовою комутацією в електричних мережах шляхом оптимізації режимів їх роботи та вдосконалення методів і засобів пофазного керування реактивною потужністю.

Для досягнення поставленої мети у роботі поставлені та вирішені такі основні завдання:

- дослідження енергетичних процесів в СТК реактивної потужності з примусовою комутацією та різними режимами заземлення нейтралі у разі їх живлення прямокутними напругами з метою зменшення втрат активної потужності під час регулювання реактивної потужності та збільшення швидкодії цих компенсаторів;

- удосконалення способів керування статичними тиристорними компенсаторами реактивної потужності з примусовою комутацією та різними режимами заземлення нейтралі без та за наявності вольтододавання для реалізації ефективних режимів роботи компенсаторів;

– розроблення методу багатокоординатного керування статичними тиристорними компенсаторами реактивної потужності з примусовою комутацією, у рамках якого незалежне керування кутами відкриття та закриття комутуючих тиристорів здійснюється залежно від цільової функції системи, яка визначається, виходячи із зменшення питомих втрат активної потужності під час регулювання реактивної потужності;

– розроблення систем для пофазного керування реактивною потужністю у статичних тиристорних компенсаторах з примусовою комутацією, які забезпечують оптимальні режими їх роботи.

Об’єкт дослідження. Режими роботи статичних тиристорних компенсаторів з примусовою комутацією та пофазним керуванням реактивною потужністю.

Предмет дослідження. Математичні моделі та засоби керування режимами роботи статичних тиристорних компенсаторів з примусовою комутацією та пофазним керуванням реактивною потужністю.

Методи дослідження. Усталені режими роботи СТК з примусовою комутацією та пофазним керуванням реактивною потужністю моделювалися і аналізувалися за допомогою законів Кірхгофа та класичного методу розв’язання диференційних рівнянь. Для визначення струмів у різних конфігураціях силових кіл СТК з примусовою комутацією, як систем зі змінними структурою та параметрами, застосовувався метод припасовування координат. Інтегральні показники енергетичного процесу СТК з примусовою комутацією визначались за допомогою інтегрального (операторного) методу. Наближення кривої переходу поверхні керування через нуль поліномом п’ятого порядку здійснювалось методом найменших квадратів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

– вперше запропоновано метод багатокоординатного керування статичними тиристорними компенсаторами реактивної потужності з примусовою комутацією, що дозволяє шляхом незалежного керування кутами відкриття та закриття комутуючих тиристорів відповідно до цільової

функції системи, яка характеризує питомі втрати активної потужності, забезпечити пофазне та багатоканальне керування реактивною потужністю, необхідний діапазон її регулювання і зменшити втрати активної потужності в електричних мережах та компенсаторах;

– розроблено нові математичні моделі СТК з примусовою комутацією та пофазним керуванням реактивною потужністю без її наявності вольтододавання, що на відміну від відомих, базуються на використанні узагальнених математичних моделей електромагнітних процесів у силових колах компенсаторів, як систем зі змінною структурою і параметрами та створюють передумови для більш адекватного аналізу енергетичних процесів в них і оптимізації режимів їх роботи;

– набув подальшого розвитку метод оптимізації параметру СТК реактивної потужності з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю, що проявляється у збільшенні коефіцієнта вольтододавання під час дії негативної півхвилі напруги живлення на затискачах розщепленої вторинної обмотки трансформатора та зумовлює збільшення швидкодії статичного компенсатора і зменшення втрат активної потужності в ньому та в електричній мережі;

– вдосконалено метод регулювання реактивної потужності зміною ширини імпульсу напруги живлення у разі симетричної та несиметричної комутації комутуючих тиристорів, що проявляється у регулюванні кута керування ними таким чином, щоб імпульс напруги живлення, ширину якого можна змінювати, переміщувався вправо або вліво залежно від способу комутації та дозволяє зменшити втрати активної потужності під час регулювання реактивної потужності в електричній мережі й в СТК з примусовою комутацією.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи полягає в тому, що:

– запропоновано спосіб регулювання реактивної потужності в СТК з примусовою комутацією за допомогою зміни ширини імпульсу напруги

живлення, який дозволяє реалізувати ефективні технології пофазного керування реактивною потужністю;

– розроблено схеми регуляторів реактивної потужності для СТК з примусовою комутацією, які дозволяють зменшити втрати активної потужності в електричних мережах та в компенсаторах, а також збільшити швидкодію компенсувальних установок;

– розроблено схеми для пофазного керування реактивною потужністю в СТК з примусовою комутацією, які дозволяють синхронізувати роботу систем з мережею, забезпечити мікропроцесорне керування у реальному часі та реалізувати необхідний алгоритм перемикання всіх елементів систем відповідно до значень їх цільових функцій;

– отримані в дисертаційній роботі результати наукових досліджень впроваджено в паливно-заправному комплексі АТ «Аеропорт Шимкент» з метою забезпечення ефективної компенсації реактивної потужності під час електропостачання паливно-заправного комплексу, стабілізації напруги в вузлах електричної мережі, збільшення швидкодії та зниження втрат електроенергії (акт про впровадження від 14.11.2013 р.), передано у відокремлений підрозділ «Волинські магістральні електричні мережі» «ДП НЕК «Укренерго» для оптимізації режимів магістральних електричних мереж (акт про впровадження від 17.03.2016 р.) та впроваджено в навчальному процесі Луцького національного технічного університету (акт про впровадження від 07.04.2016 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення та результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані здобувачем одноосібно. В наукових роботах, опублікованих в співавторстві, автору дисертаційної роботи належить: в роботі [8] – спосіб регулювання реактивної потужності шириною імпульсу напруги живлення у разі несиметричного режиму для СТК з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю; в роботі [9] – оцінювання ефективності енергетичних процесів в асинхронних СТК реактивної потужності з примусовою комутацією; в роботі [10] – спосіб

регулювання реактивної потужності шириною імпульсу напруги живлення у разі симетричного режиму для СТК з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю за наявності вольтододавання; в роботі [11] – схема керування СТК з примусовою комутацією та ізольованою нейтраллю; в роботі [12] – математична модель СТК з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю за наявності вольтододавання у разі регулювання без фазового зсуву за основною гармонікою; в роботі [13] – графічна інтерпретація принципів роботи схеми керування СТК реактивної потужності з примусовою комутацією; в роботі [14] – інтерпретація інтегральних показників енергетичного процесу СТК реактивної потужності з примусовою комутацією; в роботі [15] – інтерпретація результатів дослідження математичної моделі СТК реактивної потужності з примусовою комутацією; в роботі [16] – інтерпретація інтегральних показників енергетичного процесу СТК з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю за наявності вольтододавання; в роботі [17] – розроблення математичної моделі СТК реактивної потужності з примусовою комутацією під час його живлення синусоїдною напругою; в роботі [18] – інтерпретація інтегральних показників енергетичного процесу СТК реактивної потужності з примусовою комутацією та ізольованою нейтраллю; в роботі [19] – ідеї оптимізації енергетичних показників в СТК з примусовою комутацією та ізольованою нейтраллю; в роботі [20] – інтерпретація результатів дослідження математичної моделі СТК реактивної потужності з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю; в роботі [21] – алгоритм роботи мікропроцесорної системи СТК з примусовою комутацією та компенсованою нейтраллю під час пофазного керування реактивною потужністю; в роботі [22] – ідея покращення функціональності пристрою для регулювання реактивної потужності за рахунок асинхронної комутації фазних реакторів; в роботі [23] – ідея зменшення питомих втрат активної потужності в регуляторі реактивної потужності вибором моменту відкриття та закриття комутуючих тиристорів; в роботі [24] – ідея використання вольтододавання у статичному

регуляторі реактивної потужності для зменшення питомих втрат активної потужності.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на 10 наукових конференціях та одному семінарі, зокрема: міжнародній науково-технічній конференції «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах» (Луцький НТУ, м. Луцьк, 2010 р., 2012 р., 2014 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика», на якій отримано диплом за найкращу наукову розробку для промислового підприємства (Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського, м. Кременчук, 2011 р., 2013 р., 2014 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, м. Харків, 2011 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина» (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, 2012 р.), міжнародному форумі-конкурсі молодих учених «Проблеми надровикористання» (Національний мінерально-сировинний університет «Гірничий», м. Санкт-Петербург, 2013 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Технічні науки – від теорії до практики» (м. Новосибірськ, 2013 р.), всеукраїнському науковому семінарі «Моніторинг енерго- та ресурсовикористання в складних виробничих системах» (м. Луцьк, 2015 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 19 наукових праць, з них: 6 статей у фахових наукових журналах та збірниках України, що включені до наукометричних баз даних, 2 в іноземних журналах та збірниках (Російська Федерація), 7 у збірниках матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій, 1 у збірнику тез доповідей всеукраїнського наукового семінару, отримано 3 патенти України на корисну модель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Корнилов, Г.П. Анализ и оптимизация электрических режимов сверхмощных дуговых сталеплавильных печей [Текст] / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, Т.Р. Храмшин // Электromеталлургия. – 2013. – №7. – С. 2–10. – ISSN 1684-5781.
2. Николаев, А.А. Использование статического тиристорного компенсатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи для обеспечения устойчивости электроэнергетической системы и повышения надежности внутризаводского электроснабжения [Текст] / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, В.С. Ивекеев, И.А. Ложкин, В.Е. Котышев, М.М. Тухватуллин // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2014. – №1. – С. 59–69. – ISSN 2310-0818.
3. Benysek, G. Power Theories for Improved Power Quality [Text] / G. Benysek, M. Pasko. – London: Springer-Verlag, 2012. – 213 p. – ISBN 978-1-4471-2785-7.
4. Кузьмин, С.В. Система управления статическим компенсатором реактивной мощности для симметрирования трехфазной нагрузки [Текст] / С.В. Кузьмин // Молодой ученый. – 2014. – №6(65). – С. 175–179. – ISSN 2072-0297.
5. Юртаев, С.Н. Повышение эффективности средств компенсации реактивной мощности на предприятиях со специфичными электроприемниками [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук / С.Н. Юртаев. – Нижний Новгород, 2012. – 19 с.
6. Кузьмин, В.В. Анализ средств компенсации реактивной мощности в электрических сетях Украины [Текст] / В.В. Кузьмин, И.Г. Кирисов, С.В. Малинин // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – №5(99). – С. 45–50. – ISSN 2218-1849.

7. Закон України «Про енергозбереження» від 1.07.1994 №74/94-ВР.

8. Петухов, М.В. Енергоощадні технології керування режимами роботи статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності з примусовою комутацією [Текст] / М.В. Петухов, С.П. Літковець // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2011. – Вип. 2(14). – С. 72–76. – ISSN 2072-2052.

9. Літковець, С.П. Глобальне керування енергетичними процесами в асинхронних статичних тиристорних компенсаторах реактивної потужності з примусовою комутацією [Текст] / С.П. Літковець, М.В. Петухов // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2012. – №1(30). – С. 34–38. – ISSN 1813-5420.

10. Петухов, М.В. Спосіб зниження питомих втрат активної потужності в статичних тиристорних компенсаторах реактивної потужності з примусовою комутацією [Текст] / М.В. Петухов, С.П. Літковець // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2013. – Вип. 2(22). Ч. 2. – С. 298–302. – ISSN 2072-2052.

11. Літковець, С.П. Статичний тиристорний компенсатор з примусовою комутацією та ізольованою нейтраллю та схема керування ним [Текст] / С.П. Літковець, М.В. Петухов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – №2/8(68). – С. 28–35. – ISSN 1729-3774.

12. Літковець, С.П. Спосіб підвищення енергетичної ефективності статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності з примусовою комутацією [Текст] / С.П. Літковець, М.В. Петухов // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2014. – Вип. 2(26). – С. 56–62. – ISSN 2072-2052.

13. Литковец, С.П. Статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности с принудительной коммутацией и средства управления ими [Текст] / С.П. Литковец, Н.В. Петухов // Технические науки – от теории к практике: XXVII Международная научно-практическая конференция: сборник статей. – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. – №10(23). Ч. II. – С. 75–86. – ISSN 2308-5991.

14. Петухов, М.В. Енергоощадні технології керування режимами роботи статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності з примусовою комутацією [Текст] / М.В. Петухов, С.П. Літковець // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика: XIII Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали доповідей. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 1(1). – С. 168–169. – ISSN 2221-5190.

15. Літковець, С.П. Глобальне керування енергетичними процесами в асинхронних статичних тиристорних компенсаторах реактивної потужності з примусовою комутацією [Текст] / С.П. Літковець, М.В. Петухов // Енергетика. Екологія. Людина: IV Міжнародна науково-технічна конференція: збірник наукових праць. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – С. 18–23. – ISSN 2307-7239.

16. Літковець, С.П. Спосіб підвищення енергетичної ефективності статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності з примусовою комутацією [Текст] / С.П. Літковець, М.В. Петухов // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика: XV Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали доповідей. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 1(2). – С. 225–227. – ISSN 2221-5190.

17. Петухов, М.В. Інтегральні показники енергетичного процесу статичного тиристорного компенсатора реактивної потужності з примусовою комутацією [Текст] / М.В. Петухов, С.П. Літковець // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: III Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали конференції. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2010. – С. 151–153.

18. Петухов, М.В. Дослідження енергетичних процесів в статичних тиристорних компенсаторах реактивної потужності з примусовою комутацією [Текст] / М.В. Петухов, С.П. Літковець // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: IV

Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали конференції. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2012. – С. 135–137.

19. Петухов, М.В. Енергоощадні режими роботи статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності з примусовою комутацією [Текст] / М.В. Петухов, С.П. Літковець // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: IV Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали конференції. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2012. – С. 141–143.

20. Петухов, М.В. Дослідження енергетичних процесів в статичному тиристорному компенсаторі з примусовою комутацією та глухо заземленою нейтраллю [Текст] / М.В. Петухов, С.П. Літковець // Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах: V Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали конференції. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2014. – С. 169–171.

21. Літковець, С.П. Енергоощадні технології керування реактивною потужністю в статичних тиристорних компенсаторах з примусовою комутацією [Текст] / С.П. Літковець, В.С. Масечко, М.В. Петухов // Моніторинг енерго- та ресурсовикористання в складних виробничих системах: I всеукраїнський науковий семінар: матеріали доповідей. – Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. – С. 94–97.

22. Патент на корисну модель №69876 Україна, МПК (2006) G05F 1/70. Пристрій для регулювання реактивної потужності [Текст] // М.В. Петухов, С.П. Літковець. – u 2011 15153; Заявл. 21.12.2011; Опубл. 10.05.2012, Бюл. №9.

23. Патент на корисну модель №72838 Україна, МПК (2006.1) G05F 1/70. Регулятор реактивної потужності [Текст] // М.В. Петухов, С.П. Літковець. – u 2012 02980; Заявл. 14.03.2012; Опубл. 27.08.2012, Бюл. №16.

24. Патент на корисну модель №79407 Україна, МПК (2006.1) G05F 1/70. Статичний регулятор реактивної потужності [Текст] // М.В. Петухов,

С.П. Літковець. – и 2012 10710; Заявл. 12.09.2012; Опубл. 25.04.2013, Бюл. №8.

25. Корнилов, Г.П. Анализ режимов работы статического тиристорного компенсатора реактивной мощности дуговой сталеплавильной печи [Текст] / Г.П. Корнилов, А.Н. Шеметов, Т.Р. Храмшин, И.А. Якимов, А.В. Ануфриев, Т.Ю. Вахитов // Главный энергетик. – 2011. – №3. – С. 30–34. – ISSN 2074-7489.

26. Волков, Л.Т. Новый метод оценки уровня высших гармоник в сетях с дуговыми сталеплавильными печами [Текст] / Л.Т. Волков, Н.А. Новоселов // Электричество. – 2009. – №3. – С. 31–34. – ISSN 0013-5380.

27. Варецкий, Ю.О. Режимы электрических сетей і систем электропостачання зі статичними тиристорними компенсаторами (методологія аналізу) [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / Ю.О. Варецкий. – Львів, 1999. – 300 с.

28. Кочкин, В.И. Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий [Текст] / В.И. Кочкин, О.П. Нечаев. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 248 с. – ISBN 5-93196-019-8.

29. Чуприков, В.С. Расчет влияния тиристорного компенсатора реактивной мощности на длительность плавки ДСП [Текст] / В.С. Чуприков // Новые разработки в области проектирования электроснабжения и электрооборудования электротермических установок: сборник научных трудов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – С. 56–63.

30. Забудский, Е.И. Анализ электромагнитных режимов совмещенных управляемых устройств электроэнергетического назначения [Текст] / Е.И. Забудский // Энергосбережение. – 1999. – Вып. 1. – С. 62–75. – ISSN 1609-7505.

31. Забудский, Е.И. Совмещенные регулируемые электромагнитные устройства для улучшения качества электроэнергии [Текст] / Е.И. Забудский // Энергосбережение. – 1998. – Вып. 3. – С. 37–42. – ISSN 1609-7505.

32. Бушуева, О.А. Применение статических тиристорных компенсаторов в системах электроснабжения промышленных предприятий [Текст] / О.А. Бушуева, А.С. Новиков // Электрика. – 2007. – №8. – С. 8–13. – ISSN 1684-2472.

33. Николаев, А.А. Повышение эффективности работы статического тиристорного компенсатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук / А.А. Николаев. – Магнитогорск, 2009. – 20 с.

34. Божко, М.В. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях предприятий с резкопеременной нагрузкой [Текст] / М.В. Божко, Г.Я. Вагин // Промелектро. – 2004. – №4. – С. 20–22. – ISSN 2409-2924.

35. Солодухо, Я.Ю. Состояние и перспективы внедрения в электропривод статических компенсаторов реактивной мощности (обобщение отечественного и зарубежного опыта). Реактивная мощность в цепях с несинусоидальными токами и статические устройства для ее компенсации [Текст] / Я.Ю. Солодухо. – М.: Информэлектро, 1981. – 89 с.

36. Зачепа, Ю.В. Анализ систем компенсации реактивной мощности в условиях автономных генераторных установок [Текст] / Ю.В. Зачепа, Т.С. Василькова // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2010. – Вип. 4(12). – С. 71–77. – ISSN 2072-2052.

37. Frank, H. Thyristor-Controlled Shunt Compensation in Power Networks [Text] / H. Frank and S. Ivner // ASEA Journal. – 1981. – Vol. 54, No. 6. – P. 121–127. – ISSN 0001-2459.

38. Сегеда, М.С. Моделирование электромагнитных процессов электрической сети со статическим тиристорным компенсатором [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / М.С. Сегеда. – Львов, 1987. – 160 с.

39. Статические компенсаторы реактивной мощности в электрических системах [Текст]: Пер. тематического сб. РГ Исслед. Ком. №38 СИГРЭ / под ред. И.И. Карташева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 174 с. – ISBN 5-283-02476-8.

40. Rashid, M. Power Electronics Handbook: Devices, Circuits and Applications [Text] / M. Rashid. – Oxford: Elsevier Inc., 2011. – 1390 p. – ISBN 978-0-12-382036-5.

41. Dixon, J. A Full Compensating System for General Loads, Based on a Combination of Thyristor Binary Compensator, and a PWM-IGBT Active Power Filter [Text] / J. Dixon, Y. del Valle, M. Orchard, M. Ortuzar, L. Moran and C. Maffrand // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2003. – Vol. 50, No. 5. – P. 982–989. – ISSN 0278-0046.

42. Dixon, J. Reactive Power Compensation Technologies: State-of-the-Art Review [Text] / J. Dixon, L. Moran, J. Rodriguez and R. Domke // Proceedings of the IEEE. – 2005. – Vol. 93, No. 12. – P. 2144–2164. – ISSN 0018-9219.

43. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники. Ч. 2 [Текст] / Г.С. Зиновьев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 197 с. – ISBN 5-7782-0323-3.

44. Кошелев, К.С. Исследование и разработка средств защиты статического компенсатора реактивной мощности с цифровой системой управления [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук / К.С. Кошелев. – Москва, 2008. – 20 с.

45. Пешков, М.В. Разработка и исследование системы управления статическим компенсатором реактивной мощности типа СТАТКОМ для электроэнергетических систем [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук / М.В. Пешков. – Москва, 2009. – 23 с.

46. Magalhaes de Oliveira, M. Power Electronics for Mitigation of Voltage Sags and Improved Control of AC Power Systems [Text]: doctoral dissertation / M. Magalhaes de Oliveira. – Stockholm, 2000. – 281 p. – ISSN 1100-1607.

47. Зайцев, А.И. Развитие электроэнергетических систем на базе концепции SMART GRID [Текст] / А.И. Зайцев // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2013. – №1. – С. 71–76. – ISSN 1990-5246.

48. Кобец, Б.Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid [Текст] / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с. – ISBN 978-5-98420-075-2.

49. Марикин, А.Н. Применение преобразования Парка-Горева для управления статическим компенсатором реактивной мощности тяговой сети переменного тока [Текст] / А.Н. Марикин, С.В. Кузьмин, С.А. Виноградов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2013. – №2(50). – С. 47–54. – ISSN 0201-727X.

50. Ким, Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы [Текст] / Д.П. Ким. – М.: Физматлит, 2007. – 312 с. – ISBN 978-5-9221-0857-7.

51. Жуйков, В.Я. Системы упреждающего управления вентильными преобразователями [Текст] / В.Я. Жуйков, В.Б. Павлов, Р.Г. Стжелецки. – К.: Наукова думка, 1991. – 240 с. – ISBN 5-12-001621-9.

52. Журавлев, Ю.П. Способы управления электрическим режимом электродуговых печей [Текст] / Ю.П. Журавлев, Г.П. Корнилов, Т.Р. Храмшин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2006. – №4. – С. 76–80. – ISSN 0136-3360.

53. Корнилов, Г.П. Средства и перспективы управления реактивной мощностью крупного металлургического предприятия [Текст] / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, А.Ю. Коваленко // Электротехника. – 2008. – №5. – С. 25–32. – ISSN 0013-5860.

54. Караваев, А.А. Управляемый трехфазный компенсатор реактивной мощности с индуктивным накопителем [Текст] / А.А. Караваев // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий:

всероссийская научно-техническая конференция: сборник научных трудов. Т. 2. – Уфа: УГНТУ, 2009. – С. 26–28. – ISBN 978-5-7831-0867-9.

55. Караваев, А.А. Компьютерное моделирование трехфазного компенсатора реактивной мощности с индуктивным накопителем энергии [Текст] / А.А. Караваев, Л.Э. Рогинская // Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов: межвузовский сборник научных трудов. – Уфа: УГНТУ, 2010. – С. 117–121. – ISBN 978-5-7831-0958-4.

56. Рогинская, Л.Э. Особенности работы транзисторного преобразователя в составе компенсатора реактивной мощности с индуктивным накопителем энергии [Текст] / Л.Э. Рогинская, А.А. Караваев // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. – №1(64). Вып. 2. – С. 120–125. – ISSN 1999-8341.

57. Веников, В.А. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях [Текст] / В.А. Веников, Л.А. Жуков, И.И. Карташев, Ю.П. Рыжов. – М.: Энергия, 1975. – 136 с.

58. Аминова, Д.Н. Исследование статического ИРМ с искусственной коммутацией вентилях при конечной индуктивности реакторов в цепи выпрямленного тока [Текст] / Д.Н. Аминова, Ю.П. Рыжов // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1970. – №4. – С. 154.

59. Жуков, Л.А. Характеристики опытно-промышленного источника реактивной мощности [Текст] / Л.А. Жуков, И.И. Карташев. – В кн.: Новая техника в электроснабжении промышленных предприятий. – 1971. – С. 73.

60. Чехет, Э.М. О регулировании частоты и напряжения в тиристорных преобразователях частоты с однократной модуляцией [Текст] / Э.М. Чехет. – В кн.: Повышение эффективности устройств преобразовательной техники. Ч. 1. – Киев, 1972. – С. 162–169.

61. Рутманис, Л.А. Способы управления преобразователями частоты с непосредственной связью и искусственной коммутацией [Текст] /

Л.А. Рутманис, Я.П. Дрейманис, О.А. Аржаник. – Рига: Зинатне, 1976. – 159 с.

62. Карташев, Р.П. Тиристорные преобразователи частоты с искусственной коммутацией [Текст] / Р.П. Карташев, А.К. Кулиш, Э.М. Чехет. – К.: Техніка, 1979. – 152 с.

63. Руденко, В.С. Преобразовательная техника [Текст] / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко. – К.: Вища школа, 1983. – 431 с.

64. Бейдер, Г.Ф. Построение трехфазных тиристорно-трансформаторных регуляторов (стабилизаторов) и анализ их выходного напряжения [Текст] / Г.Ф. Бейдер, Г.С. Мыщук. – В кн.: Современные задачи преобразовательной техники. Ч. 3. – К.: Наукова думка, 1975. – С. 346–354.

65. Жарский, Б.К. Разработка и исследование статических тиристорных регуляторов переменного напряжения с искусственной коммутацией [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Б.К. Жарский. – Киев, 1975. – 24 с.

66. Петрович, В.П. Силовые преобразователи электрической энергии [Текст] / В.П. Петрович, Н.А. Воронина, А.В. Глазачев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 240 с.

67. Бар, В.И. Основы преобразовательной техники [Текст] / В.И. Бар. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2002. – 108 с.

68. Жарский, Б.К. Импульсные способы регулирования переменных напряжений [Текст] / Б.К. Жарский, В.В. Голубев. – В кн.: Повышение эффективности устройств преобразовательной техники. Ч. 1. – К.: Наукова думка, 1972. – С. 237–247.

69. Гельман, М.В. Тиристорные регуляторы переменного напряжения [Текст] / М.В. Гельман, С.П. Лохов. – М.: Энергия, 1975. – 104 с.

70. Гельман, М.В. Преобразовательная техника [Текст] / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.

71. Лихошерст, В.И. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии с импульсным регулированием [Текст] /

В.И. Лихошерст. – Екатеринбург: ГОУ УГТУ–УПИ, 2002. – 166 с. – ISBN 5-321-00200-2.

72. Попков, О.З. Основы преобразовательной техники [Текст]: учебное пособие для вузов / О.З. Попков. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 200 с. – ISBN 978-5-383-00112-7.

73. Руденко, В.С. Основы преобразовательной техники [Текст] / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко. – М.: Высшая школа, 1980. – 424 с.

74. Домнин, И.Ф. Полупроводниковые компенсаторы неактивных составляющих полной мощности [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / И.Ф. Домнин. – Харьков, 2008. – 132 с.

75. Домнин, И.Ф. Перспективы применения полупроводниковых компенсаторов реактивной мощности в сетях электроснабжения промышленных предприятий [Текст] / И.Ф. Домнин, Г.Г. Жемеров, Е.И. Сокол // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». Ч. 2. – 2002. – С. 37–43. – ISSN 0204-3599.

76. Овчаренко, Н.И. Микропроцессорная автоматика синхронных генераторов и компенсаторов [Текст] / Н.И. Овчаренко. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2004. – 96 с. – ISSN 0013-7278.

77. Бурунова, Г.М. Микропроцессорная система автоматического управления и защиты статического тиристорного компенсатора для линий электропередачи [Текст] / Г.М. Бурунова, Е.А. Бушмарина, М.А. Лотков // Автоматическое управление электроэнергетическими системами: сборник научных трудов. – М.: Информэлектро, 1988. – С. 28–34.

78. Агунов, А.В. Статический компенсатор неактивных составляющих мощности с полной компенсацией гармонических составляющих тока загрузки [Текст] / А.В. Агунов // Электротехника. – 2003. – №2. – С. 47–50. – ISSN 0013-5860.

79. Ненахов, А.И. Особенности построения систем управления статическими тиристорными компенсаторами [Текст] / А.И. Ненахов, С.И. Гамазин, Д.С. Мологин // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – №1. – С. 36–42. – ISSN 2074-9635.

80. Сокол, Е.И. Концепция микропроцессорного управления полупроводниковыми преобразователями [Текст] / Е.И. Сокол, И.Ф. Домнин, М.А. Шишкин // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». Ч. 1. – 2000. – С. 69–74. – ISSN 0204-3599.

81. Компания ЗАО «Нидек АСИ ВЭИ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ansaldovei.ru>.

82. Ляшко, І.І. Диференціальні рівняння [Текст] / І.І. Ляшко, О.К. Боярчук, Я.Г. Гай, О.Ф. Калайда. – К.: Вища школа, 1981. – 504 с.

83. Попов, Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления [Текст] / Е.П. Попов. – М.: Наука, 1988. – 256 с. – ISBN 5-02-013903-3.

84. Саєнко, Ю.Л. Реактивна потужність в системах електропостачання з нелінійними навантаженнями [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / Ю.Л. Саєнко. – Львів, 2003. – 340 с.

85. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники. Ч. 1 [Текст] / Г.С. Зиновьев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. – 199 с. – ISBN 5-7782-0264-4.

86. Тонкаль, В.Е. Баланс энергий в электрических цепях [Текст] / В.Е. Тонкаль, А.В. Новосельцев, С.П. Денисюк, В.Я. Жуйков, М.Т. Стрелков, Ю.А. Яценко. – К.: Наукова думка, 1992. – 312 с. – ISBN 5-12-002099-2.

87. Жежеленко, И.В. О методах расчета реактивной мощности при несинусоидальных режимах [Текст] / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саєнко // Промышленная энергетика. – 1985. – №12. – С. 40–41. – ISSN 0033-1155.

88. Жежеленко, И.В. Реактивная мощность в задачах электроэнергетики [Текст] / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саєнко // Электричество. – 1985. – №2. – С. 7–12. – ISSN 0013-5380.

89. Солодухо, Я.Ю. Тенденции компенсации реактивной мощности. Ч. 1. Реактивная мощность при несинусоидальных режимах работы [Текст] / Я.Ю. Солодухо. – М.: Информэлектро, 1987. – 52 с.

90. Чижма, С.Н. Совершенствование методов и средств контроля качества электроэнергии и составляющих мощности в электроэнергетических системах с тяговой нагрузкой [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / С.Н. Чижма. – Омск, 2014. – 329 с.

91. Emanuel, A.E. Summary of IEEE standard 1459: definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions [Text] / A.E. Emanuel // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2004. – Vol. 40, No. 3. – P. 869–876. – ISSN 0093-9994.

92. Кизилов, В.У. О понятии «реактивная мощность» [Текст] / В.У. Кизилов, А.Д. Светелик // Энергетика та електрифікація. – 2005. – №2. – С. 35–38. – ISSN 0424-9879.

93. Нетушил, А.В. О математическом языке теоретических основ электротехники [Текст] / А.В. Нетушил // Электричество. – 1994. – №6. – С. 75. – ISSN 0013-5380.

94. Fryze, S. Active, Reactive and Apparent Power in Non-Sinusoidal Systems [Text] / S. Fryze // Przegląd Electrot. – 1931. – No. 7. – P. 193–203.

95. Кизилов, В.У. Оптимальное разложение тока на активную и реактивную составляющие [Текст] / В.У. Кизилов // Вісник НТУ «ХП». Електроенергетика та перетворювальна техніка. – 2003. – №9/4. – С. 3–8. – ISSN 2079-4525.

96. Жемеров, Г.Г. Теория мощности Фризе и современные теории мощности [Текст] / Г.Г. Жемеров, О.В. Ильина // Електротехніка і електромеханіка. – 2007. – №6. – С. 62–65. – ISSN 2074-272X.

97. Жежеленко, И.В. Современная концепция реактивной мощности [Текст] / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 1995. – №1. – С. 192–197. – ISSN 2225-6733.

98. Akagi, H. Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components [Text] / H. Akagi, Y. Kanazawa and A. Nabae // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1984. – Vol. IA-20, No. 3. – P. 625–630. – ISSN 0093-9994.

99. Кизилов, В.У. К вопросу о физическом смысле реактивного тока и реактивной мощности [Текст] / В.У. Кизилов // Вісник НТУ «ХП». Енергетика та перетворювальна техніка. – 2002. – №9/3. – С. 44–50. – ISSN 2079-4525.

100. Арриллага, Д. Гармоники в электрических системах [Текст] / Д. Арриллага, Д. Бредли, П. Боджер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с. – ISBN 5-283-02458-X.

101. Тонкаль, В.Е. Определение и компенсация реактивной мощности в цепях несинусоидального тока и напряжения [Текст] / В.Е. Тонкаль, В.Я. Жуйков, С.П. Денисюк, Ю.А. Яценко. – К.: Институт проблем энергосбережения, 1990. – 28 с.

102. Кадомский, Д.Е. Активная и реактивная мощности – характеристики средних значений работы и энергии периодического электромагнитного поля в элементах нелинейных цепей [Текст] / Д.Е. Кадомский // Электричество. – 1987. – №7. – С. 39–43. – ISSN 0013-5380.

103. Маевский, О.А. Интегральный метод определения энергетических соотношений в вентильных преобразователях [Текст] / О.А. Маевский // Известия высших учебных заведений. Энергетика. – 1965. – №8. – С. 43–51.

104. Маевский, О.А. Энергетические показатели вентильных преобразователей [Текст] / О.А. Маевский. – М.: Энергия, 1978. – 320 с.

105. Шидловский, А.К. Частотно-регулируемые источники реактивной мощности [Текст] / А.К. Шидловский, В.С. Федий. – К.: Наукова думка, 1980. – 303 с.

106. Грицюк, Ю.В. Оптимізація режимів роботи статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності при їх живленні напругами полігональної форми за критерієм мінімуму питомої споживаної

активної потужності [Текст] / Ю.В. Грицюк, М.В. Петухов, Б.С. Рогальський, М.П. Свиридов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – №2. – С. 46–55. – ISSN 1997-9266.

107. Жежеленко, И.В. Реактивная мощность в задачах электроэнергетики [Текст] / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко // Электричество. – 1987. – №2. – С. 7–12. – ISSN 0013-5380.

108. Літковець, С.П. Оптимізація режимів роботи статичних тиристорних компенсаторів реактивної потужності з примусовою комутацією [Текст] / С.П. Літковець // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. – 2011. – Вип. 117. – С. 158–160. – ISBN 5-7987-0176X.

109. Литковец, С.П. Эффективные стратегии управления статическими тиристорными компенсаторами реактивной мощности с принудительной коммутацией [Текст] / С.П. Литковец // Проблемы недропользования: Международный форум-конкурс: Сборник научных трудов. Ч. I. – СПб.: НМСУ «Горный», 2013. – С. 226–228. – ISBN 978-5-94211-645-3.

110. Справочник по теории автоматического управления [Текст] / под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.

111. Амосов, А.А. Вычислительные методы для инженеров: учебное пособие [Текст] / А.А. Амосов, Ю.А. Дубинский, Н.В. Копченова. – М.: Высшая школа, 1994. – 544 с. – ISBN 5-06-000625-5.