



Дорошенко О. І.

ПРО МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Пропонується проводити моделювання режимів електроенергетичних систем у два кроки. На першому кроці створюється ідейно-теоретична модель, яка, спираючись на розуміння матеріальності, розглядає його фізику і відповідає на питання: Як і чому так? На другому кроці — реально-математична модель, яка, спираючись на перший крок, відповідає на питання: Скільки і чому стільки? Такий підхід до моделювання в електроенергетичних системах виключає математичний формалізм.

Ключові слова: електроенергетика, моделювання, матеріальність в електроенергетиці, ідейно-теоретична модель, реально-математична модель.

1. Вступ

Як відомо, електрична енергія (електроенергія) є основою будь-якої сфери життя та діяльності сучасного людського загалу. Її виробляють промисловим способом і безпечно, економно та безперерійно поставляють споживачам технологічні підрозділи електроенергетики — електроенергетичні системи (ЕЕС).

З одного боку, ЕЕС — сукупність електроустановок для виконання згаданих функцій електроенергетики, а з іншого — це наука, без якої виконання таких функцій стає неможливим. Якщо прийняти до уваги, що усі згадані технологічні процеси ЕЕС відбуваються майже одночасно, то аналіз і розрахунки їх режимів не є можливими без моделювання. При цьому, зважаючи на вимоги безпеки ЕЕС та технічні перешкоди доступу до їх діючого електрообладнання, у практиці досліджень широко використовують фізичне та математичне моделювання їх режимів [1].

Математичне моделювання займає перше місце і широко застосовується в електроенергетиці. Для цього достатньо написати математичні рівняння, які зв'язують параметри елементів ЕЕС з параметрами її режиму, і віднайти алгоритм їх рішення із застосуванням сучасної обчислювальної техніки. Але, як стверджується в [2]: «...Математическая постановка технической задачи является самой сложной и важной частью работы. Важны не столько выбираемые математические методы расчета, сколько выбранные упрощения первоначальной, подлежащей решению физической задачи. Об этом забывают авторы разнообразных математических моделей, для многих из которых само математическое моделирование превратилось из инструмента для исследования в самоцель. Между ними даже развернулось соревнование — кто сделает модель какого-либо элемента «круче». Моделей много, например, [3], а посчитать что-то конкретно — возможности нет...».

Таким чином, задача визначення науково-методичного підходу до моделювання в електроенергетиці є завжди актуальною.

2. Аналіз літературних даних

З [4] відомо, що електроенергія, як фізичне явище, є енергією електромагнітного поля ЕЕС, що створюється в діелектричному середовищі, яке оточує усі струмо-

ведучі частини системи, одночасно дією на нього напруги і струму провідності згаданих частин: «...Электромагнитная энергия от места ее генерирования передается к месту потребления по диэлектрику (провода же в линиях передачи выполняют двойную роль: они являются каналами, по которым проходит ток, и организаторами структуры поля в диэлектрике)...»

У нормативному документі [5], що діє в Україні, починаючи з 1996 р. наводиться таке визначення електромагнітного поля: «...1 Электромагнитное поле. Вид матерії, що визначається в усіх точках двома векторними величинами, які характеризують дві його сторони, що називаються відповідно «електричне поле» та «магнітне поле», які чинять силовий вплив на заряджені частинки, що залежить від їх швидкості і величини їх заряду...».

Очевидно, що таке визначення поля ніяким чином не розкриває його фізичної суті.

Сучасна філософія називає матерією реальний будівельний матеріал, з якого побудовано увесь навколишній природний світ (разом з Космосом). З цього приводу в [6] сказано наступне: «...К описанию нашего Мира больше подходит модель, в которой все объекты встроены в некое единое «полотно», где все взаимодействуют со всеми посредством этого «полотна»... Что же это за «полотно», связывающее все объекты? Честно будет сказать, что мы до конца не знаем этого. Видимо, подобное «полотно» — некий базовый строительный материал, из которого «соткан» наш Мир...».

Очевидно, що рух у такому «полотні» (у фізичному просторі) стає можливим лише за умови дії у ньому певних сил. Частина фізичного простору, у якому діють такі сили називається полем. Поля, що діють в ЕЕС називаються електромагнітними. Загальну класифікацію полів, що створюються у просторі реального світу через взаємодію між собою матеріальних об'єктів природи наведено в [7]. При цьому стверджується про те, що Природу (включно з Космосом) створено за певними законами, три з яких є Головними: Закон загальної взаємодії; Закон парності; Закон збереження енергії.

3. Формування мети і задач дослідження

Мета цієї роботи — не зменшуючи значення математичного моделювання в електроенергетиці, розробити такий науково-методичний підхід до моделювання усіх процесів ЕЕС, за якого кожне явище повинно мати

реальну фізичну (матеріальну) основу, наприклад, визначити фізичну сутність відомої формули, кВА:

$$S = P \pm jQ, \tag{1}$$

де P — активна потужність ЕЕС, кВт; Q — реактивна потужність ЕЕС, квар.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

1. Уточнити розуміння матеріальності в електроенергетиці.
2. Спираючись на розуміння матеріальності, з'ясувати фізичну сутність електромагнітного поля, як робочого інструмента ЕЕС.
3. Запропонувати стандартний науково-методичний підхід до моделювання електроенергетичних процесів в ЕЕС.

4. Результати дослідження ЕЕС

Як можна бачити, в [5] відсутнє чітке розуміння матерії і матеріальності. За твердженням [8], на роль матерії може претендувати «фізичний вакуум». При цьому припускається, що фізичний вакуум складається із елементарних неподільних, надтвердих частинок — фітонів, які володіють одночасно позитивним та негативним зарядами (рис. 1, а) і можуть поляризуватись дією зовнішніх електричних зарядів (рис. 1, б). Цілком можливо, що за певних умов, негативні заряди можуть лишати деякі фітони але стати вільними не в змозі і обертаються навколо власного свого місця за круговими орбітами дією Вселенського електромагнітного поля (як показано на рис. 2), створивши атом простої речовини.

Таким чином, атом — найменша матеріальна частинка простої речовини як електрично упорядкований об'єм фізичного вакууму з певною кількістю фітонів, частина яких має постійний позитивний заряд $+n$ протонів (ядро), що утримує на круговій орбіті навколо себе еквівалентний негативний заряд, який складається з $-n$ одиниць окремих електронів.

За твердженням [9], властивості усіх речовин визначаються видом електричного зв'язку між їх електронами і протонами ядра атомів. При цьому розрізняють атомний електронний зв'язок (на рівні атомів) і молекулярний зв'язок (на рівні молекул).

Молекула — найменша частинка складної речовини як електрично упорядкований об'єм фізичного вакууму, що складається з атомів простих речовин.

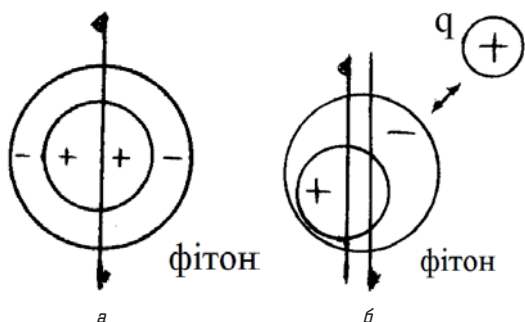


Рис. 1. Можливий стан фітона

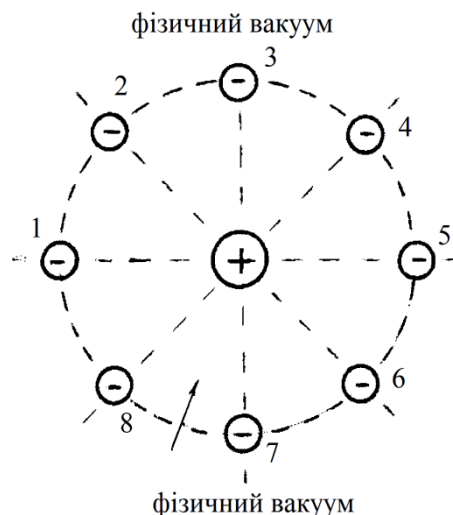


Рис. 2. Атом простої речовини

Металеві струмоведучі частини електроустановок ЕЕС (алюміній або мідь) мають кристалічну будову, що надає їм властивості міцності (рис. 3). У вузлах цієї решітки розташовано позитивно заряджені ядра їх атомів, які коливаються навколо певного положення рівноваги, залежно від температури середовища. Простір між вузлами заповнюють від'ємно заряджені електрони, що обертаються за круговими орбітами (дією вселенського електромагнітного поля), поступово займаючи положення 1–8 (рис. 2), та урівноважують заряд вузлів.

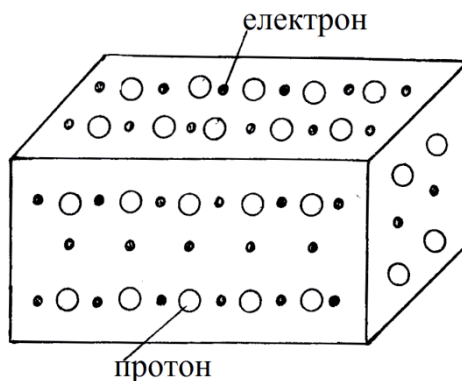


Рис. 3. Кристалічна решітка провідника

Провідники (струмоведучі частини ЕЕС) є простими речовинами і володіють атомним електричним зв'язком. Кожен протон (одиниця заряду ядра атому) у нормальному стані утримує на круговій орбіті тільки один (свій) електрон. Такий зв'язок вважається надто слабким і під дією зовнішніх факторів (наприклад, напруги) електрони атомів провідника легко стають вільними, створюючи струм провідності.

Діелектрики, що оточують усі струмоведучі частини ЕЕС — речовини складні (за винятком атмосферних газів). У більшості діелектриків кристалічної решітки нема і зв'язок між протонами ядра їх атомів і електронами всієї молекули називають молекулярним. При цьому кожен електрон кожного атому молекули утримується на круговій орбіті кожним протоном кожного

ядра атому молекули. Такий зв'язок тим міцніший, чим більше атомів має молекула.

Під дією зовнішніх чинників (наприклад, напруги) відбувається поляризація фітонів всієї молекули діелектричної речовини, у наслідок чого кругові орбіти електронів усіх її атомів набувають овальної форми, і в такій речовині створюється струм зміщення.

За даними [4], співвідношення між питомим об'ємним струмом зміщення і провідності провідників і діелектриків, за самих сприятливих умов, знаходиться на рівні: Провідники — 278 в.о.; Діелектрики — $5,6 \times 10^{-6}$ в.о.

За твердженням [10], такі співвідношення можуть свідчити про те, що діелектричне середовище (на відміну від провідного) є електрично пружним середовищем і в ньому може існувати енергія.

Очевидно, що така енергія може створюватись у діелектричному середовищі ЕЕС одночасною дією на нього напруги (рис. 4) і струму провідності (рис. 5) її струмоведучих частин.

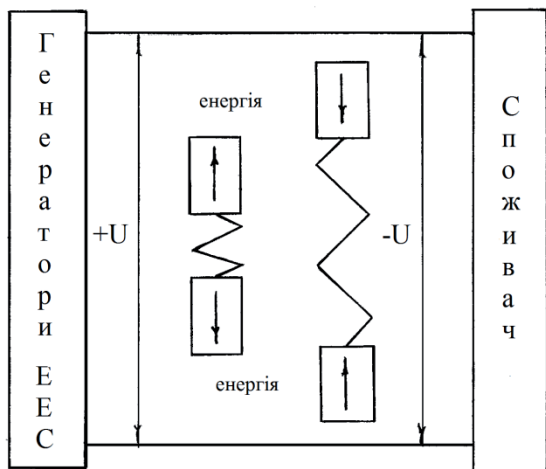


Рис. 4. Дія напруги на діелектричне середовище ЕЕС

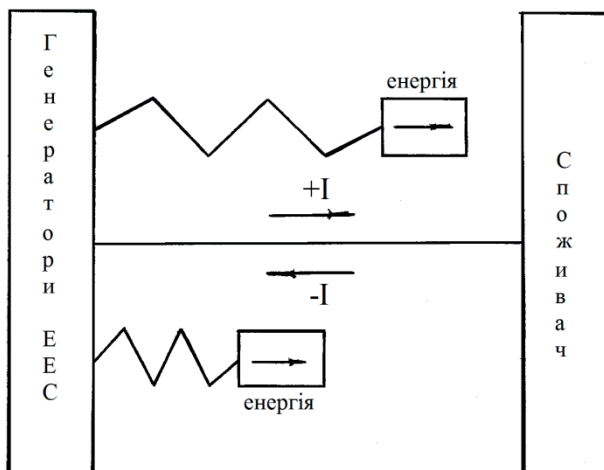


Рис. 5. Дія струму провідності ЕЕС на її діелектричне середовище

При цьому, за допомогою ємності таких частин, напруга періодично стискає діелектричне середовище у поперечному і поздовжньому напрямку, відносно напрямку електропередачі, а струм провідності, за допомогою індуктивності згаданих частин, періодично

розтягує у поздовжньому і поперечному напрямку, відносно напрямку електропередачі.

Тобто, діелектричне середовище ЕЕС можна розглядати як пружину, що працює одночасно у двох напрямках до напрямку електропередачі [11].

Як можна бачити, один кінець пружини на рис. 5 глухо закріплюють генератори електростанцій ЕЕС. Тому енергія поздовжньої складової її поля може передаватись тільки у напрямку до споживача. Вона одержала назву активної електроенергії ЕЕС.

Обидва кінці пружини на рис. 4 вільні. Тому поперечна складова енергії поля ЕЕС може передаватись тільки у середину струмоведучих частин, де вона існувати не може — провідне середовище є електрично не пружне. Але через явище електромагнітної індукції у ньому створюється електрорушійна сила самоіндукції і струм самоіндукції, який одержав назву реактивного струму (реакція ЕЕС на власне електромагнітне поле). Напрямок такого струму завжди протилежний до напрямку струму провідності, що поступає від генераторів ЕЕС. Тому загальний струм її струмоведучих частин відстає за фазою зміни від напруги (переважає їх індуктивність), або випереджає її (переважає ємність). Саме тому поперечна складова енергії поля ЕЕС одержала назву реактивної електроенергії.

На рис. 6 наведено модель атому діелектричного середовища такої системи у стані поперечної поляризації (до напрямку струму провідності). Як відомо, напрямок руху електрона при його обертанні навколо ядра атому змінює сила Кариоліса. Її робота визначається за відомою формулою:

$$A = F_K \cdot l \cdot \cos \alpha, \tag{2}$$

де F_K — сила Кариоліса; l — можливий шлях руху електрона під дією позитивного заряду ядра атому; α — кут між напрямком дії сили і можливим напрямком згаданого руху.

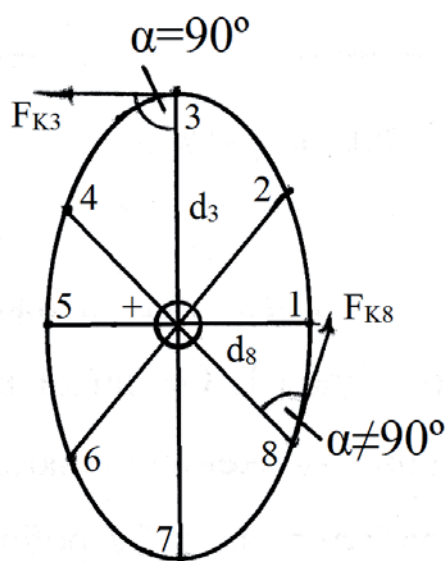


Рис. 6. Поперечна поляризація атому діелектрика

Можна бачити, що в точках орбіти 1, 3, 5 і 7 робота (енергія) відсутня, а в точках 2, 4, 6 та 8 вона має

максимальне значення, змінюючись за синусоїдальним законом від нуля до амплітуди. При цьому, змінюється її знак через зміну напрямку сили. У проміжках 1–3 та 5–7 має місце розтягнення умовної пружини, а в проміжках 3–5 та 7–1 її стиснення. Таки чином, реактивна складова електроенергії (потужності) ЕЕС, на відміну від її активної складової двічі, за період зміни синусоїдальних напруги і струму провідності струмоведучих частин системи, також змінюється за синусоїдальним характером від нуля до амплітудного значення. При цьому створюється ефект намагнічування феромагнітних речовин, які розташуються в межах фізичного середовища, у якому створюється силове поле. Через наявність у такому полі одночасно електричних і магнітних сил воно одержало назву електромагнітного поля. Таким чином, робочим інструментом ЕЕС є її електромагнітне поле.

При математичному моделюванні ЕЕС, у відповідності до теореми Пойнтинга, дію її електромагнітного поля, умовно, замінують дією двох полів: електричного та магнітного. При цьому повну потужність поля ЕЕС визначають добутком векторних величин напруженостей електричного та магнітного полів. Приймаючи до уваги, що напруженість електричного поля пропорційна до величини напруги $\vec{E} \equiv \vec{U}$, а напруженість магнітного поля пропорційна до величини струму провідності — $\vec{H} \equiv \vec{I}$, повну потужність ЕЕС можна представити у вигляді, кВА:

$$\begin{aligned} S &= u \cdot i = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \phi) = \\ &= \sqrt{2}U \sin \omega t \cdot \sqrt{2}I \sin(\omega t - \phi) = \\ &= \frac{\sqrt{2}U \cdot \sqrt{2}I}{2} = (\cos(\omega t - \omega t + \phi) - \cos(\omega t + \omega t - \phi)) = \\ &= U \cdot I \cos \phi - U \cdot I \cos(2\omega t - \phi), \end{aligned} \quad (3)$$

де u — миттєве значення синусоїдальної напруги струмоведучих частин ЕЕС, кВ; i — миттєве значення струму провідності струмоведучих частин ЕЕС, А; U_m — амплітудне значення напруги, кВ; I_m — амплітудне значення струму провідності, А; U — діюче значення напруги, кВ; I — діюче значення струму провідності, А; ϕ — кут зсуву фаз між синусоїдальними напругою і струмом провідності струмоведучих частин ЕЕС, град.

Як можна бачити, перша складова рівняння (3) не залежить від частоти напруги і струму провідності струмоведучих частин ЕЕС і є її активною потужністю. Друга складова цього рівняння змінюється з подвійною частотою за період зміни синусоїдальних напруги і струму провідності струмоведучих частин ЕЕС і є її реактивною потужністю.

Приймаючи до уваги, що $\cos(2\omega t - \phi) = \sin \phi$, за звичаєм, рівняння (3) представляють у вигляді, кВА:

$$S = UI \cos \phi - UI \sin \phi = P \pm jQ, \quad (4)$$

де P — активна потужність ЕЕС, кВт; Q — реактивна потужність ЕЕС, квар.

Графічно рівняння (4) представлено на рис. 7.

Науково-методичну сутність підходу до моделювання ЕЕС, що пропонується, наведено в табл. 1.

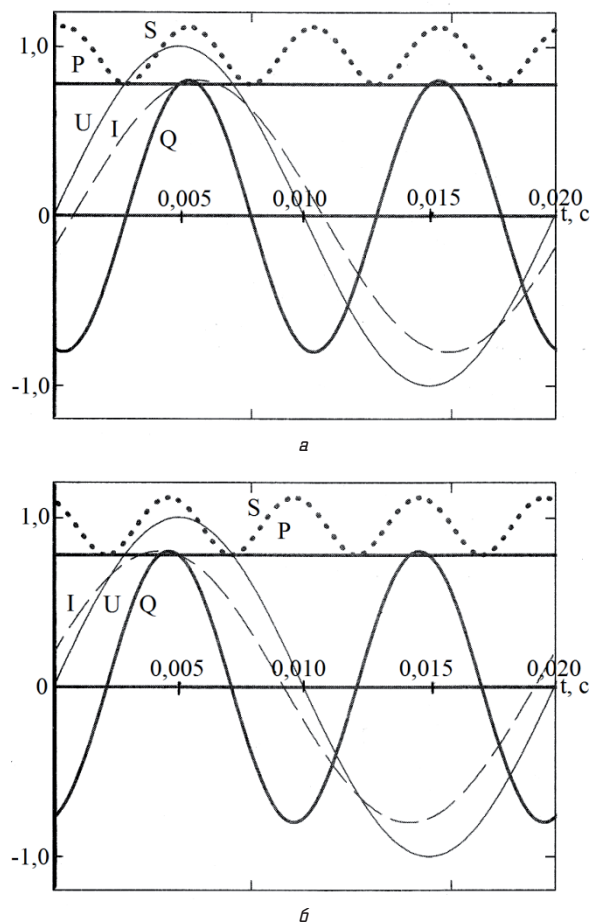


Рис. 7. Реально-математична модель ЕЕС: а — відстаючий струм провідності; б — випереджаючий струм провідності

Таблиця 1

Види моделювання в електроенергетиці

Моделювання в електроенергетиці	
Формально-математичне (математичний формалізм) На рівні математичних формул (навіть, без їх фізичного обґрунтування)	Фізичне На рівні реального електротехнічного обладнання меншої потужності та нижчої напруги для створення спеціальних стендів та тренажерів
1.1. Ідейно-теоретичне На рівні відомих та нових гіпотез і законів природи і доведених в теоретичній електротехніці	
1.2. Реально-математичне На рівні розрахункових заступних схем за відношеннями між параметрами їх елементів та режимів, доведених в теоретичній електротехніці	Демонстрація для студентів принципу дії електротехнічних пристроїв та створення спеціальних тренажерів для навчання поведінки поводження електротехнічного персоналу у екстремальних і нештатних ситуаціях
Для лінійного навантаження	Для нелінійного навантаження
Теоретична і практична підготовка електротехнічного персоналу та студентів	

Таким чином, моделювання ЕЕС необхідно проводити у два етапи: перший — ідейно-теоретична модель; другий — реально-математична модель.

5. Висновки

1. Матерію в електроенергетиці можна розуміти як сукупність елементарних неозорих, неподільних частинок — фітонів, що володіють одночасно елементарним позитивним і негативним зарядам.

2. Електротехнічні властивості провідників і діелектриків ЕЕС визначаються міцністю електричного зв'язку між протонами і електронами їх атомів і молекул.

3. Електромагнітне поле — не окремий вид матерії, а такий стан фізичного простору, за якого у ньому починають діяти електричні сили (сили Кулона) і магнітні сили (сили Кариоліса).

4. Активна потужність — поздовжня (вздовж напрямку електропередачі) складова потужності електромагнітного поля ЕЕС, а реактивна — її поперечна складова.

5. Ідейно-теоретична модель ЕЕС повинна відповідати на питання: Як і чому так?

6. Реально-математична модель ЕЕС повинна спиратись на її ідейно-теоретичну модель і відповідати на питання: Скільки і чому стільки?

Література

1. Веников, В. А. Теория подобия и моделирование применительно к задачам электроэнергетики [Текст] / В. А. Веников. — М.: Высшая школа, 1966. — 487 с.
2. Никонец, Л. А. Физические явления внутреннего резонанса в электрооборудовании с обмотками высокого напряжения [Текст] / И. Р. Бучковский, М. М. Молнар, А. Л. Никонец, Л. А. Никонец, М. Б. Сабат; под ред. Л. А. Никонца. — Львов: НВФ «Українські технології», 2012. — 167 с.
3. Кириленко, О. В. Математичне моделювання в електроенергетиці [Текст]: підручник / О. В. Кириленко, М. С. Сегеда, О. Ф. Буткевич, Т. А. Мазур. — Львів: НУ «Львівська політехніка», 2010. — 608 с.
4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники [Текст]: учебник для студ. энергетич. и электротехнич. вузов / Л. А. Бессонов. — Изд. 6-е. — М.: Высш. школа, 1973. — 752 с.
5. ДСТУ 2843-94. Державний стандарт України. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення [Текст]. — Київ: Держстандарт України, 1995. — 66 с.
6. Репченко, О. Н. Полевая физика или как устроен мир? [Текст] / О. Н. Репченко. — М.: Галерея, 2005. — 320 с.
7. Копылов, И. П. Великие законы природы [Текст] / И. П. Копылов // Электричество. — 2011. — № 4. — С. 63–66.
8. Акимов, А. Е. Модели поляризованных состояний физического вакуума и торсионных полей [Текст] / А. Е. Акимов, В. Я. Тарасенко // Известия высших учебных заведений. Физика. — 1992. — № 3. — С. 13–23.
9. Богородицкий, Н. П. Электротехнические материалы [Текст]: учебник для вузов / Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, В. М. Тареев. — 7-е изд. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ие, 1985. — 304 с.
10. Ландау, Л. Д. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика [Текст] / Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1969. — 399 с.
11. Дорошенко, О. І. Щодо питання матеріальності в фізиці електроенергетики [Текст] / О. І. Дорошенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. — 2011. — Вип. 11(186). — С. 120–124.

О МОДЕЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Предлагается производить моделирование электроэнергетических систем в два шага. На первом шаге создается идейно-теоретическая модель, которая, опираясь на понятие материальности, рассматривает его физику и отвечает на вопросы: как и почему так? На втором шаге — реально-математическая модель, которая, опираясь на первый шаг, отвечает на вопросы: Сколько и почему столько? Такой подход к моделированию в электроэнергетических системах исключает математический формализм.

Ключевые слова: электроэнергетика, моделирование, материальность в электроэнергетике, идейно-теоретическая модель, реально-математическая модель.

Дорошенко Олександр Іванович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електропостачання та енергоменеджменту, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: dai1938@yandex.ua.

Дорошенко Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, кафедра электроснабжения и энергоменеджмента, Одесский национальный политехнический университет, Украина.

Doroshenko Oleksandr, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: dai1938@yandex.ua

УДК 532.517

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.27927

Ивицкий И. И.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИСТЕННОГО СКОЛЬЖЕНИЯ ПОЛИМЕРА

В статье рассмотрено влияние эффекта пристенного скольжения при плавлении полимера на процесс экструзионного формования. Проведено моделирование течения полимера в канале с учетом пристенного скольжения, результаты которого были сопоставлены с экспериментально полученными зависимостями, что позволило получить возможность сравнить параметры процесса с учетом пристенного скольжения и без него.

Ключевые слова: течение полимера, плавление полимера, пристенное скольжение.

1. Введение

Изготовление качественных полимерных изделий невозможно без использования уточненных методов моделирования конструктивных и технологических па-

раметров оборудования и процессов в нем, а также без учета влияния пристенных эффектов, которые оказывают существенное влияние на ход процессов формирования изделий. Пристенные эффекты могут в значительной степени влиять на распределение основных параметров