

Рис. 11. Зависимость КПД от нагрузки для различных систем передачи энергии: 1 — воздушной; 2 — гидравлической; 3 — системы переменного тока

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интерес, который проявляется к использованию гидростартеров для запуска ГТД, в известной мере объясняется дальнейшим совершенствованием элементов гидропривода и, в частности, систем объемного гидропривода, примеры использования и область применения которых были описаны выше.

Таким образом, применение гидрообъемных машин для запуска может позволить:

- получить высокий КПД всей системы (до 0,8–0,9);
- использовать обратимость объемной гидромашин и применять гидростартер после запуска как гидронасос для самолетных нужд, что снизит массу вспомогательных систем на борту;
- обеспечить близкое соответствие характеристик гидростартера и двигателя в процессе запуска;
- упростить компоновочные проблемы, связанные с необходимостью подвода к стартеру и отвода от него газа или воздуха с помощью трубопроводов значительного диаметра;

УДК 517.958.532.5

Т. А. ФАЙЗУЛИН

## ПРИБЛИЖЕННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ НЕРАВНОВЕСНОЙ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Предлагается схема нахождения водонасыщенности в случае произвольного вида функции Баклея–Левретта. Искомая функция водонасыщенности есть сумма функционального ряда, коэффициенты которого суть решения цепочки краевых задач для линейных гиперболических уравнений. Построены явные формулы для членов этого функционального ряда и получено асимптотическое представление решения нелинейной задачи при малых временах релаксации. *Неравновесная фильтрация; газированная жидкость; относительные фазовые проницаемости*

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Неравновесные эффекты сильно искажают модель Маскета–Левретта — равновесной фильтрации неоднородной жидкости в пористой среде. Равновесное распределение фаз в макроэлементе пористой среды может устанавливаться довольно долго, поэтому истинные гидродинамические проводимости будут весьма далеки от равновесных.

В работе [1] была предложена схема, которая сводилась к тому, что относительные фа-

• применить более гибкую компоновку, что в ряде случаев позволяет отказаться от редуктора, способствует снижению массы пусковой системы и повышает ее надежность.

Накопленный опыт применения гидравлических пусковых систем подтверждает их преимущества, состоящие в общем высоком КПД, относительно низкой удельной массе, возможности согласования требуемого изменения подводимой к ротору запускаемого двигателя мощности, низкой стоимости технического обслуживания и обеспечения возможности быстрого повторного запуска.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кац Б. М., Жаров Э. С., Винокуров В. К. Пусковые системы авиационных газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1976. 220 с.
2. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей / Под ред. С. М. Шляхтенко. М.: Машиностроение, 1987. 568 с.
3. Бабаев О. М., Кисточкин Е. С. Объемные гидромеханические передачи: Расчет и конструирование. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. 256 с.

### ОБ АВТОРЕ



Лысенко Надежда Владимировна, асп. каф. прикладн. гидромеханики. Дипл. магистр техн. и технол. по энергомашиностроению (УГАТУ, 2002). Готовит дис. по гидравлич. машинам, гидропневмоагрегатам ГТД.

зовые проницаемости  $f_i(s)$  и функция Баклея–Левретта  $F(s)$  в неравновесном потоке остаются теми же, что и в равновесном, но зависят не от истинной водонасыщенности  $s$ , а от фиктивной водонасыщенности  $\tilde{s}$ , для которой в [2] было предложено кинетическое уравнение, связывающее её с истинной:

$$\tilde{s} = s + \tau \frac{\partial s}{\partial \theta}, \quad (1)$$



где  $\theta$  — безразмерное время,  $\tau$  — время релаксации.

Система уравнений Маскета–Леверетта [3] при постоянной скорости фильтрации смеси сводится к уравнению с безразмерными независимыми переменными:

$$\frac{\partial s}{\partial \theta} + \frac{\partial F(\bar{s})}{\partial \xi} = 0, \quad (2)$$

где  $F(\bar{s}) = f_1(\bar{s})/f_1(\bar{s}) + \mu_0 f_2(\bar{s})$  — функция Баклея–Леверетта,  $\xi$  — безразмерная пространственная координата,  $\mu_0 = \mu_1/\mu_2$ ,  $\mu_1, \mu_2$  — коэффициенты вязкости вытесняющей и вытесняемой жидкостей.

Таким образом, задача фильтрации описывается уравнениями (1), (2). В работе [4] было показано, что с начальными и граничными условиями

$$s(0, \theta) + \tau \frac{\partial s(0, \theta)}{\partial \theta} = s_k, \quad s(\xi, 0) = s_0, \quad (3)$$

где  $s_0, s_k$  — начальная и конечная насыщенности пористой среды вытесняющим агентом, для функции Баклея–Леверетта, строго монотонной и при ограниченности её второй производной, решение задачи существует и единственно при всех  $\xi, \theta$ .

В данной работе предлагается схема нахождения водонасыщенности в случае произвольного вида функции Баклея–Леверетта. Искомая водонасыщенность есть сумма функционального ряда, коэффициенты которого суть решения краевой задачи для линейного гиперболического уравнения. Построены явные формулы для членов этого функционального ряда и получено асимптотическое представление решения нелинейной задачи при малых временах релаксации в области  $\xi/A\tau + \theta/\tau \geq C > 0$ .

### ПОСТРОЕНИЕ РЕШЕНИЯ

Решение задачи (1)–(3) ищем в виде:

$$s(\xi, \theta, \tau) = \sum_{n=0}^{\infty} \tau^n s^{(n)}(\xi, \theta, \tau), \quad (4)$$

$$\bar{s}(\xi, \theta, \tau) = \sum_{n=0}^{\infty} \tau^n \bar{s}^{(n)}(\xi, \theta, \tau), \quad (5)$$

а для выполнения граничных условий (3) потребуем:

$$s^{(0)}(\xi, 0, \tau) = s_0, \quad \bar{s}^{(0)}(0, \theta, \tau) = s_k, \quad (6)$$

$$s^{(n)}(\xi, 0, \tau) = 0, \quad \bar{s}^{(n)}(0, \theta, \tau) = 0, \quad n = 1, 2, \dots \quad (7)$$

Также положим:

$$s^{(n)} + \tau \frac{\partial s^{(n)}}{\partial \theta} = \bar{s}^{(n)}, \quad \bar{s}^{(0)}(\xi, \theta, \tau) = s_k, \quad n = 1, 2, \dots \quad (8)$$

Подставляя ряды (4), (5) в уравнения (1), (2) и учитывая (8), будем иметь

$$\left\{ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} F^{(n+1)}(s_k) \left[ \sum_{m=1}^{\infty} \tau^m \bar{s}^{(m)} \right]^n \right\} \times \\ \times \sum_{n=1}^{\infty} \tau^n \frac{\partial \bar{s}^{(n)}}{\partial \xi} = - \sum_{n=0}^{\infty} \tau^n \frac{\partial s^{(n)}}{\partial \theta}. \quad (9)$$

Положим

$$\tau F'(s_k) \frac{\partial \bar{s}^{(1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial s^{(0)}}{\partial \theta} + \tau \frac{\partial s^{(1)}}{\partial \theta} = 0.$$

Используя формулы (6)–(8) и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях  $\tau$  в соотношении (9), для определения коэффициентов  $s^{(n)}, \bar{s}^{(n)}, n = 0, 1, 2, \dots$  рядов (4), (5) получаем следующие краевые задачи:

$$s^{(0)} + \tau \frac{\partial s^{(0)}}{\partial \theta} = \bar{s}^{(0)}; \quad (10)$$

$$\bar{s}^{(0)}(\xi, \theta, \tau) = s_k; \quad s^{(0)}(\xi, 0, \tau) = s_0;$$

$$s^{(1)} + \tau \frac{\partial s^{(1)}}{\partial \theta} = \bar{s}^{(1)};$$

$$\tau F'(s_k) \frac{\partial \bar{s}^{(1)}}{\partial \xi} + \tau \frac{\partial s^{(1)}}{\partial \theta} + \frac{\partial s^{(0)}}{\partial \theta} = 0; \quad (11)$$

$$s^{(1)}(\xi, 0, \tau) = 0; \quad \bar{s}^{(1)}(0, \theta, \tau) = 0;$$

$$s^{(n)} + \tau \frac{\partial s^{(n)}}{\partial \theta} = \bar{s}^{(n)};$$

$$F'(s_k) \frac{\partial \bar{s}^{(n)}}{\partial \xi} + \frac{\partial s^{(n)}}{\partial \theta} =$$

$$= f_n(\bar{s}^{(1)}, \dots, \bar{s}^{(n-1)}) \frac{\partial \bar{s}^{(1)}}{\partial \xi}, \dots, \frac{\partial \bar{s}^{(n-1)}}{\partial \xi}; \quad (12)$$

$$s^{(n)}(\xi, 0, \tau) = 0; \quad \bar{s}^{(n)}(0, \theta, \tau) = 0;$$

$$n = 2, 3, \dots$$

Здесь

$$f_n = - \sum_{m=1}^{n-1} F^{m+1}(s_k) \times \\ \times \sum_{m_1 + \dots + m_n = m+1} \left( \frac{\bar{s}_1^{m_1} \bar{s}_2^{m_2} \dots \bar{s}_{n-1}^{m_{n-1}}}{m_1! m_2! \dots m_{n-1}!} \right)_{\xi}. \quad (13)$$

Таким образом, получили цепочку краевых задач, решение каждой из которых зависит от решения предыдущей.

Из (10) видно, что функции  $s^{(0)}, \bar{s}^{(0)}$  вычисляются по формулам

$$s^{(0)} = s_k + (s_0 - s_k) e^{-\theta/\tau}, \quad \bar{s}^{(0)} = s_k. \quad (14)$$

При

$$s^{(0)} + \tau s^{(1)} = u, \quad \bar{s}^{(0)} + \tau \bar{s}^{(1)} = v, \quad (15)$$



а также с учетом (14), (15) краевая задача (11) примет вид

$$\begin{aligned} \tau \frac{\partial u}{\partial \theta} + u = v, \quad F'(s_k) \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{\partial u}{\partial \theta} = 0, \\ u(\xi, 0, \tau) = s_0, \quad v(0, \theta, \tau) = s_k. \end{aligned} \quad (16)$$

Видно, что для линейной функции  $F(s)$ , т.е.  $F(s) = As + B$ , исходная задача (1), (2), (3) совпадает с задачей (16). В работе [5] было построено точное решение линейной задачи с помощью классического метода Римана:

$$\begin{aligned} u(\xi, \theta, \tau) &= s_0 + (s_k - s_0) \int_0^{xy} B(x, \eta) d\eta = \\ &= s_k + (s_0 - s_k) \times \\ &\quad \times \left( e^{-x-y} J(2\sqrt{xy}) + \int_0^{xy} B(y, \eta) d\eta \right), \\ v(\xi, \theta, \tau) &= s_k + (s_0 - s_k) \int_0^{xy} B(y, \eta) d\eta = \\ &= s_0 + (s_k - s_0) \times \\ &\quad \times \left( e^{-x-y} J(2\sqrt{xy}) + \int_0^{xy} B(x, \eta) d\eta \right). \end{aligned} \quad (17)$$

Здесь

$$\begin{aligned} x = \frac{\xi}{\tau A}, \quad y = \frac{\theta}{\tau}, \quad A = F'(s_k), \\ B(z, \eta) = \frac{e^{-z-\eta/z}}{z} J(2\sqrt{\eta}), \end{aligned} \quad (18)$$

а  $J(x)$  — функция Бесселя нулевого порядка мнимого аргумента

$$J(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(n!)^2} \left(\frac{x}{2}\right)^{2n}.$$

Отметим, что различные представления (17) — решения краевой задачи (16) — полезны для нахождения асимптотических формул.

Далее, используя замену (18) и вводя обозначения:

$$\begin{aligned} s^{(n)}(\xi, \theta, \tau) &= p_n(x, y, \tau), \\ \tilde{s}^{(n)}(\xi, \theta, \tau) &= q_n(x, y, \tau), \end{aligned} \quad (19)$$

краевые задачи (12) перепишем следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p_n}{\partial y} = q_n - p_n, \quad \frac{\partial q_n}{\partial x} + q_n - p_n = \tau \varphi_n, \\ p_n(x, 0, \tau) = 0, \quad q_n(0, y, \tau) = 0, \quad n = 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (20)$$

Нетрудно показать, что задача (20) эквивалентна задаче Гурса для уравнения второго порядка

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 p_n}{\partial x \partial y} + \frac{\partial p_n}{\partial y} + \frac{\partial p_n}{\partial x} = \tau \varphi_n, \\ p_n(x, 0, \tau) = 0, \quad q_n(0, y, \tau) = 0, \quad n = 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (21)$$

или аналогична краевой задаче относительно функции  $q_n(x, y, \tau)$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 q_n}{\partial x \partial y} + \frac{\partial q_n}{\partial y} + \frac{\partial q_n}{\partial x} = \tau \left( \varphi_n + \frac{\partial \varphi_n}{\partial y} \right); \\ q_n(x, 0, \tau) = \tau e^{-x} \int_0^x e^\eta \varphi_n(\eta, 0, \tau) d\eta, \\ q_n(0, y, \tau) = 0, \quad n = 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (22)$$

Здесь

$$\varphi_n(x, y, \tau) = f_n(\tilde{s},^{(1)} \dots, \tilde{s},^{(n-1)} \frac{\partial \tilde{s}^{(1)}}{\partial \xi}, \dots, \frac{\partial \tilde{s}^{(n-1)}}{\partial \xi}).$$

Решение для (21), (22) может быть получено в замкнутой форме методом Римана. Так, функция  $p_n(x, y, \tau)$  определяется формулой

$$\begin{aligned} p_n(x, y, \tau) = \tau \int_0^x \int_0^y e^{-x-y+\alpha+\beta} \times \\ \times J(2\sqrt{(x-\alpha)(y-\beta)}) \varphi_n(\alpha, \beta, \tau) d\alpha d\beta, \end{aligned} \quad (23)$$

а функция

$$\begin{aligned} q_n(x, y, \tau) = \tau \int_0^x \int_0^y e^{-x-y+\alpha+\beta} \times \\ \times J(2\sqrt{(x-\alpha)(y-\beta)}) \times \\ \times \left[ \varphi_n(\alpha, \beta, \tau) + \frac{\partial \varphi_n(\alpha, \beta, \tau)}{\partial \beta} \right] d\alpha d\beta + \\ + \tau \int_0^y e^{-x-y+\alpha} J(2\sqrt{(x-\alpha)y}) \times \\ \times \varphi_n(\alpha, 0, \tau) d\alpha, \quad n = 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (24)$$

Таким образом, решение нелинейной задачи неравновесной двухфазной фильтрации при малых временах релаксации определяется с помощью функциональных рядов (4) и (5), коэффициенты  $s^{(n)}$ ,  $\tilde{s}^{(n)}$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) которых вычисляются по формулам (14), (15), (17), (19), (23), (24).

#### АСИМПТОТИЧЕСКИЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ

На практике достаточно знать два-три члена приближения для функций  $s(\xi, \theta, \tau)$ ,  $\tilde{s}(\xi, \theta, \tau)$  задачи (1)–(3). Целью данного параграфа является построение асимптотических формул для первых трех членов рядов (4) и (5):

$$\begin{aligned} s(\xi, \theta, \tau) \approx s^{(0)} + \tau s^{(1)} + \tau^2 s^{(2)}; \\ \tilde{s}(\xi, \theta, \tau) \approx \tilde{s}^{(0)} + \tau \tilde{s}^{(1)} + \tau^2 \tilde{s}^{(2)}. \end{aligned} \quad (25)$$

Согласно (15), (25) перепишем:

$$\begin{aligned} s(\xi, \theta, \tau) \approx u(\xi, \theta, \tau) + \tau^2 s^{(2)}; \\ \tilde{s}(\xi, \theta, \tau) \approx v(\xi, \theta, \tau) + \tau^2 \tilde{s}^{(2)}. \end{aligned} \quad (26)$$



Отсюда видно, что решение системы уравнений (1)–(3) в первом приближении совпадает с решением линейной задачи фильтрации, для которой функция Баклея–Левретта имеет вид  $F(s) = A\bar{s} + B$ . Асимптотическое поведение функций  $u(\xi, \theta, \tau)$ ,  $v(\xi, \theta, \tau)$  подробно исследовано в работе [5]. Осталось показать, что коэффициенты  $s^{(2)}$  и  $\bar{s}^{(2)}$  ограничены по  $\tau$ . Для начала получим явное представление этих функций.

Из формулы (13) при  $n = 2$  имеем

$$f_2 \left( \bar{s}^{(1)}, \frac{\partial \bar{s}^{(1)}}{\partial \xi} \right) = -F''(s_k) \bar{s}^{(1)} \frac{\partial \bar{s}^{(1)}}{\partial \xi}.$$

Далее, учитывая (14), (15), последнее выражение преобразуем к виду

$$f_2 \left( \bar{s}^{(1)}, \frac{\partial \bar{s}^{(1)}}{\partial \xi} \right) = -\frac{F''(s_k)}{\tau^3 F'(s_k)} (v - s_k)(v - u) \quad (27)$$

и, следовательно, согласно (17) получаем, что

$$f_2 \left( \bar{s}^{(1)}, \frac{\partial \bar{s}^{(1)}}{\partial \xi} \right) = -\frac{F''(s_k)}{\tau^3 F'(s_k)} (s_0 - s_k)^2 e^{-x-y} \times \\ \times J(2\sqrt{xy}) \int_0^{xy} B(y, \eta) d\eta. \quad (28)$$

Так как  $\varphi_2(x, y, \tau) = f_2(\bar{s}^{(1)}, \frac{\partial \bar{s}^{(1)}}{\partial \xi})$ , то исходя из формул (19) и (23) при  $n=2$  с учетом соотношения (28) получаем явное представление функции  $s^{(2)}$

$$s^{(2)}(\xi, \theta, \tau) = -\frac{F''(s_k)}{\tau^2 F'(s_k)} (s_0 - s_k)^2 e^{-x-y} \times \\ \times \int_0^x \int_0^y J(2\sqrt{(x-\alpha)(y-\beta)}) J(2\sqrt{\alpha\beta}) \times \\ \times \int_0^{\alpha\beta} B(\beta, \eta) d\eta d\alpha d\beta. \quad (29)$$

Для вычисления коэффициента  $\bar{s}^{(2)}$  ряда (5) рассмотрим (24), где, воспользовавшись представлениями (17), (27), функция  $\varphi_2(x, 0, \tau)$  преобразуется к виду

$$\varphi_2(x, 0, \tau) = -\frac{F''(s_k)}{\tau^3 F'(s_k)} (s_k - s_0)^2 [e^{-2x} - e^{-x}],$$

а выражение  $\varphi_2(x, y, \tau) + \frac{\partial \varphi_2(x, y, \tau)}{\partial y}$  будет иметь вид

$$\varphi_2(x, y, \tau) + \frac{\partial \varphi_2(x, y, \tau)}{\partial y} = \frac{F''(s_k)}{\tau^3 F'(s_k)} (s_k - s_0)^2 \times \\ \times J'(2\sqrt{xy}) \sqrt{x/y} e^{-x-y} \times \\ \times \left\{ e^{-x-y} J(2\sqrt{xy}) - \int_0^{xy} B(y, \eta) d\eta \right\}. \quad (30)$$

Таким образом, формулу (24) для  $n=2$  перепишем следующим образом:

$$\bar{s}^{(2)}(\xi, \theta, \tau) = \frac{F''(s_k)}{\tau^2 F'(s_k)} (s_k - s_0)^2 \times \\ \times \left\{ \int_0^x e^{-x-y} [e^{-\alpha} - 1] J(2\sqrt{(x-\alpha)y}) d\alpha + \right. \\ \left. + \int_0^x \int_0^y e^{-x-y} J(2\sqrt{(x-\alpha)(y-\beta)}) J'(2\sqrt{\alpha\beta}) \sqrt{\alpha/\beta} \times \right. \\ \left. \times \left[ e^{-\alpha-\beta} J(2\sqrt{\alpha\beta}) - \int_0^{\alpha\beta} B(\beta, \eta) d\eta \right] d\alpha d\beta \right\}. \quad (31)$$

Итак, получены явные формулы для нахождения коэффициентов  $s^{(2)}$  и  $\bar{s}^{(2)}$  для рядов (4), (5). Докажем их ограниченность по параметру  $\tau$ .

Согласно формуле интегрального преобразования Лапласа для функции Бесселя нулевого порядка мнимого аргумента [6]

$$\int_0^\infty B(z, \eta) d\eta = 1, \quad \operatorname{Re} z > 0.$$

Далее из формул (29) и (30) получаем оценки:

$$|s^{(2)}(\xi, \theta, \tau)| \leq \frac{|F''(s_k)|}{\tau^2 F'(s_k)} (s_0 - s_k)^2 \times \\ \times e^{-x-y} J(2\sqrt{xy}) xy, \quad (32)$$

$$|\bar{s}^{(2)}(\xi, \theta, \tau)| \leq \frac{|F''(s_k)|}{\tau^2 F'(s_k)} (s_k - s_0)^2 \times \\ \times e^{-x-y} J(2\sqrt{xy}) (2x + 1). \quad (33)$$

Используя неравенства (31), (32), можно доказать, что  $s^{(2)} \rightarrow 0$  и  $\bar{s}^{(2)} \rightarrow 0$  при  $\tau \rightarrow 0$  в области  $\xi/A\tau + \theta/\tau \geq C > 0$ .

Таким образом, построено асимптотическое представление решения задачи неравновесной двухфазной фильтрации с произвольной функцией Баклея–Левретта и малым параметром релаксации, главный член которого есть асимптотическое представление задачи неравновесной двухфазной фильтрации, функция Баклея–Левретта которой имеет линейный вид.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баренблатт Г. И. Фильтрация двух несмешивающихся жидкостей в однородной пористой среде // Изв. АН СССР. МЖГ. 1971. № 5. С. 144–151.
2. Баренблатт Г. И., Винниченко А. П. Неравновесная фильтрация несмешивающихся жидкостей // Успехи механики. 1980. Т. 3, № 3. С. 35–50.
3. Баренблатт Г. И., Егтов В. М., Рыжик В. М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа М.: Недра. 1972. 288 с.
4. Булгакова Г. Т. Задача типа Гурса для неравновесной двухфазной фильтрации // Вестник УГАТУ. 2003. Т. 4, № 2.



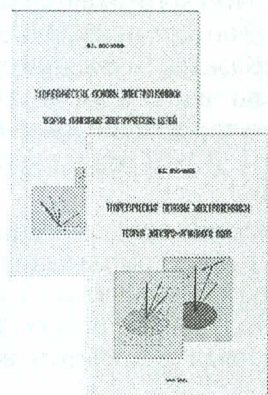
5. Булгакова Г. Т., Жибер А. В., Файзулин Т. А. К теории неравновесных эффектов при фильтрации неоднородных жидкостей // Вестник УГАТУ. 2004. Т. 5, № 2 (10).
6. Бейтман Г., Эрдейи А. Таблицы интегральных преобразований. М.: Наука. 1969. Т. 1. 340 с.

## ОБ АВТОРЕ



**Файзулин Тимур Айратович**, асп. каф. математики. Дипл. спец. в обл. прикладной математики и информатики (УГАТУ, 2003). Готовит дис. о нелинейных и неравновесных процессах двухфазной фильтрации под рук. проф. Г. Т. Булгаковой.

*Сигнальная информация*



**В. С. Лукманов**

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Часть I

### Теория линейных электрических цепей

Уфа: УГАТУ, 2005

120 с. Табл. 1. Ил. 93. Библиогр.: 12 назв. ISBN 5-86911-543-4

Часть III

### Теория электромагнитного поля

Уфа: УГАТУ, 2005

91 с. Табл. 4. Ил. 52. Библиогр.: 10 назв. ISBN 5-86911-490-X

В первой части представлен материал, который охватывает законы электротехники, методы расчета линейных электрических цепей, комплексный метод расчета электрических цепей при синусоидальных воздействиях, резонансные явления в линейных электрических цепях, электрические цепи с взаимной индукцией, методы расчета трехфазных цепей, расчет цепей при периодических несинусоидальных воздействиях.

В третьей части рассмотрены теоретические основы расчета электромагнитных полей в диэлектрике и в проводящей среде, а также методы расчета элементов схем замещения электрических машин и длинных линий.

Допущено Научно-методическим советом Министерства образования и науки РФ по электротехнике и электронике в качестве учебного пособия по теоретическим основам электротехники для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 1406000 «Электротехника, электромеханика, электротехнологии» специальности 1406001 «Электромеханика» и по направлению 140200 «Электроэнергетика» специальности 140205 «Электроэнергетические системы и сети»