



УДК 621.313

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ СЕПАРИРОВАНИЯ НЕФТИ СОВМЕЩЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ

MATHEMATICAL MODEL OF THE TEMPERATURE FIELD OF A UNIT FOR OIL SEPARATION OF A COMBINED STRUCTURE

Копелевич Лев Ефимович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
kkllev@mail.ru

Ким Владислав Анатольевич

студент,
Кубанский государственный технологический университет
vladk-kub@mail.ru

Шаршак Алексей Александрович

студент,
Кубанский государственный технологический университет
vip.sharshak@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена обзору математической модели установки для сепарирования нефти выполненной на базе двигателя-сепаратора.

Ключевые слова: сепаратор, сепарация нефти, математическая модель.

Kopelevich Lev Efimovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department of
Electrical Engineering
and Electrical Machines,
Kuban State Technological University
kkllev@mail.ru

Kim Vladislav Anatolievich

Student,
Kuban State Technological University
vladk-kub@mail.ru

Sharshak Alexey Alexandrovich

Student,
Kuban State Technological University
vip.sharshak@mail.ru

Annotation. This article is devoted to the review of the mathematical model of the unit for oil separation performed on the basis of the separator engine.

Keywords: separator, oil separation, mathematical model.

Установка для сепарирования нефти [1] является одним из результатов работ научного коллектива кафедры электротехники и электрических машин ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» по направлению исследований, связанных с повышением энергоэффективности объектов нефтегазовой отрасли.

Установка для сепарирования нефти, представленная на рисунке 1 содержит: корпус 1 сепаратора, смонтированный в нем статор электродвигателя, состоящий из двух частей (цилиндрическая часть 2-1, аксиальная часть 2-2), с обмоткой 3 двух частей статора, вокруг лобовых частей которой установлены трубки 4, залитые компаундом 5, барабан сепаратора 6, являющийся одновременно ротором электродвигателя, жестко связанный с валом 7, подогревателя нефти 15, соединительных трубок 16 и 17. Вал 7 установлен в подшипниковых опорах 8 и 9. Барабан сепаратора 6 состоит из основания 10 с центральной трубкой, разделительных тарелок 11, крышки 12, тарелкодержателя 13, затяжного кольца 14. Соединительная трубка 16 соединяет подогреватель нефти 15 с входом трубок 4, а соединительная трубка 17 соединяет выход трубок 4 с внутренней частью барабана сепаратора 6.

При подключении к сети обмотки 3 цилиндрической 2-1 и аксиальной частей 2-2 статора возникает вращающееся магнитное поле, которое наводит вихревые токи в барабане 6, являющегося одновременно ротором электродвигателя. Взаимодействие вращающегося магнитного поля, созданного в частях статора 2-1 и 2-2, и магнитного поля, созданного вихревыми токами в барабане (массивном роторе) 6, приводит к возникновению вращающегося момента, в результате чего барабан 6 приходит во вращение, совместно с валом 7. Неочищенная нефть (газоводонефтяная смесь) подается в подогреватель нефти 15, где частично происходит подогрев неочищенной нефти до определенной температуры. После подогревателя нефти 15, частично подогретая нефть по соединительной трубке 16 подается на вход трубок 4. Проходя по трубкам 4, нефть дополнительно подогревается за счет тепловыделения в обмотках 3 цилиндрической 2-1 и аксиальной 2-2 частей статора и в магнитопроводах цилиндрической 2-1 и аксиальной 2-2 частей статора. Подогреваясь в трубках 4 нефть, одновременно, охлаждает магнитопроводы цилиндрической 2-1 и аксиальной частей 2-2 статора и обмотку 3 двух частей статора 2. При выходе из трубок 4 нефть по соединительной трубке 17 подается в барабан (массивный ротор) 6, где она поступает через центральную трубку в днище барабана, а затем в каналы тарелкодержателя 13. Находясь в нижней части барабана 6, нефть дополнительно подогревается за счет тепловыделения в торцевой и цилиндрической частях барабана 6,



приобретая необходимую для сепарирования температуру. Находясь в нижней части барабана 6 нефть подвергается воздействию электромагнитного поля, как с аксиальной, так и с цилиндрической частей статора, что способствует улучшению процесса сепарирования. Сам процесс сепарирования нефти происходит в разделительных тарелках 11. Продукты сепарирования (очищенная нефть, газ и вода) выводятся из барабана сепаратора.

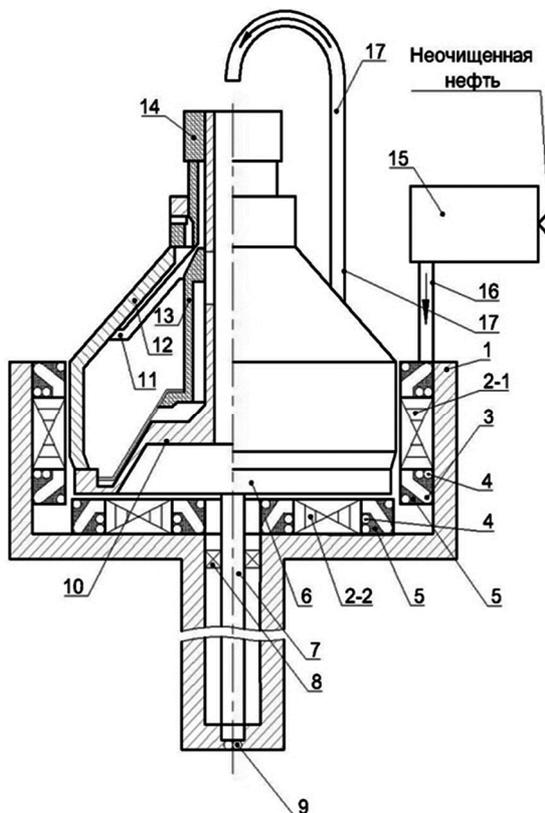


Рисунок 1 – Установка для сепарирования нефти

На рисунке 2 схематично показана приближенная расчетная модель установки для сепарирования нефти совмещенной конструкции, у которой гладкий массивный ротор является рабочим органом, в каналах которого протекает сепарируемый продукт, являющийся одновременно хладагентом. Лобовые части обмотки статора и наружная часть сердечника статора обвиты трубопроводом, по которому протекает продукт (хладагент). На рисунке 2 стрелками схематично показано движение сепарируемого продукта.

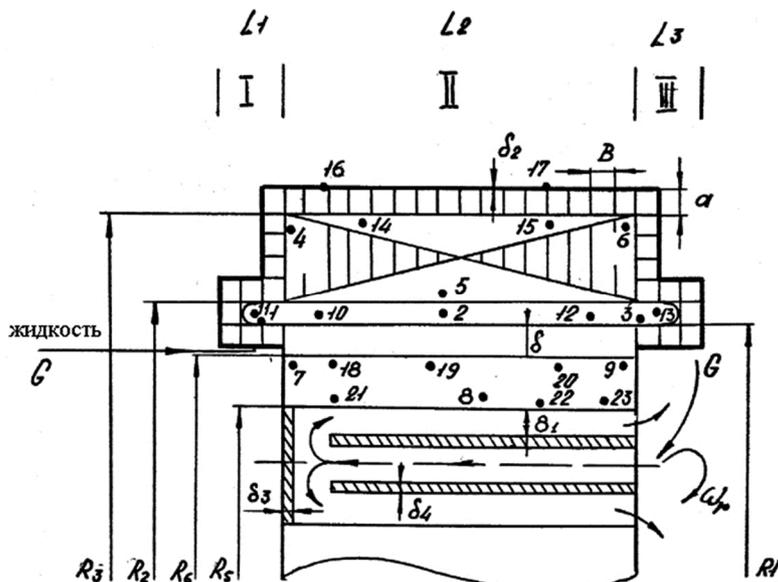


Рисунок 2 – Расчетная модель установки для сепарирования нефти совмещенной конструкции



В (1) приведена математическая модель температурного поля установки для сепарирования нефти совмещенной конструкции на различных участках конструкции. Индекс « S_1 » соответствует обмоткам фаз статора, индекс « S_2 » – обмоткам статора, по которым протекают эквивалентные вихревые токи; « r » – ротор.

$$\left\{ \begin{array}{l} C_M \rho_M \frac{\partial T_{S1}}{\partial t} = \lambda_{Mr} \left(\frac{\partial^2 T_{S1}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_{S1}}{\partial r} \right) + \left(\frac{\partial^2 T_{S1}}{\partial Z^2} \right) \lambda_{Mz} + \frac{R_{S1}}{V_{S1}} (i_{S1L}^2 + i_{S1\beta}^2 + i_{S1\gamma}^2) \\ R_1 \leq r \leq R_2 \quad 0 \leq Z \leq L_5 \\ C_S \rho_S \frac{\partial T_{S2}}{\partial t} = \lambda_{Sr} \left(\frac{\partial^2 T_{S2}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_{S2}}{\partial r} \right) + \left(\frac{\partial^2 T_{S2}}{\partial Z^2} \right) \lambda_{Sz} + \frac{R_{S2}}{V_{S2}} e^{r\sqrt{2\mu_S\gamma_S f_0}} (i_{S2L}^2 + i_{S2\beta}^2 + i_{S2\gamma}^2) \\ R_2 \leq r \leq R_3 \quad L_1 \leq Z \leq L_2 \\ C_r \rho_r \frac{\partial T_r}{\partial t} = \lambda_r \left(\frac{\partial^2 T_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_r}{\partial r} \right) + \left(\frac{\partial^2 T_r}{\partial Z^2} \right) + \frac{R_r}{V_r} e^{r\sqrt{2\mu_r\gamma_r S}} (i_{rL}^2 + i_{r\beta}^2 + i_{r\gamma}^2) \\ R_5 \leq r \leq R_6 \quad L_1 \leq Z \leq L_2 \end{array} \right. \quad (1)$$

где C_M, C_S, C_r – удельные теплоемкости обмотки фазы статора, сердечника статора и ротора; ρ_M, ρ_S, ρ_r – плотности вещества обмотки фазы статора, сердечника статора и ротора; T_{S1}, T_{S2}, T_r – мгновенные значения температур; $\lambda_{Mr}, \lambda_{Mz}, \lambda_{Sr}, \lambda_{Sz}, \lambda_r$ – коэффициенты теплопроводности мотки фазы и сердечника статора по осям и ротора; r, z – цилиндрические координаты; R_{S1}, R_{S2}, R_r – активные сопротивления обмоток статора и ротора по осям, L, β, γ зависящие соответственно от температур T_{S1}, T_{S2}, T_r ; V_r, V_{S1}, V_{S2} – объем исследуемого узла машины; $i_{S1L}, i_{S1\beta}, i_{S1\gamma}, i_{S2L}, i_{S2\beta}, i_{S2\gamma}, i_{rL}, i_{r\beta}, i_{r\gamma}$ – токи в обмотках статора и ротора по осям L, β, γ ; L_{S1}, L_{S2}, L_r – полные индуктивности обмоток статора и ротора по осям L, β, γ ; μ_S, μ_r – относительная магнитная проницаемость стали сердечника статора и ротора; f_0 – частота сети; S – скольжение; γ_{S1}, γ_r – удельные проводимости материала, зависящие от температуры;

Литература:

1. Пат. 2593626 Российская Федерация, МПК⁷ B04B5/10, B03C5/02, B01D17/06, B01D43/00, B04B9/02. Установка для сепарирования нефти / Копелевич Л.Е.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет» (ФГБОУ ВО «КубГТУ») (RU). – № 2015110414/05; заявл. 2015-03-23; опубли. 10.08.2016, Бюл. № 22. – 7 с.: ил.

References:

1. Pat. 2593626 Russian Federation, МПК⁷ B04B5/10, B03C5/02, B01D17/06, B01D43/00, B04B9/02. Installation for oil separation / Kopelevich L.E.; applicant and patent holder Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Kuban State Technological University» (FGBOU VO «KubSTU») (RU). – № 2015110414/05; claimed. 2015-03-23; publ. August 10, 2016, Bul. № 22. – 7 p.