



УДК 621.313

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ СОВМЕЩЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО СЕПАРАТОРА

ENGINE FEATURES OF COMBINED CENTRIFUGAL SEPARATOR DESIGN

Самородов Александр Валерьевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
alex.samorodoff@gmail.com

Ким Владислав Анатольевич

ассистент
кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
vladk-kub@mail.ru

Мараховский Евгений Александрович

студент,
Кубанский государственный технологический университет
zheka3334@mail.ru

Колбасин Сергей Игоревич

студент,
Кубанский государственный технологический университет
kolbasinserega@yandex.ru

Вершняк Алексей Владимирович

студент,
Кубанский государственный технологический университет
altunmei-zu105@gmail.com

Аннотация. В статье представлены характеристики двигателя совмещенной конструкции центробежного сепаратора, полученные в результате математического моделирования.

Ключевые слова: математическое моделирование, массивный ротор, совмещенная конструкция, качество электроэнергии, сепаратор.

Samorodov Alexander Valerievich

Ph. D., Associate Professor of
the Department of Electrical Engineering
and Electrical Machines
Kuban State Technological University
alex.samorodoff@gmail.com

Kim Vladislav Anatolevich

Assistant of Electrical Engineering and
Electrical Machines,
Kuban State Technological University
vladk-kub@mail.ru

Marakhovsky Evgeny Alexandrovich

Student,
Kuban State Technological University
zheka3334@mail.ru

Kolbasin Sergey Igorevich

Student,
Kuban State Technological University
kolbasinserega@yandex.ru

Vershnyak Aleksey Vladimirovich

Student,
Kuban State Technological University
altunmei-zu105@gmail.com

Annotation. The article presents the characteristics of the engine of the combined design of the centrifugal separator, obtained as a result of mathematical modeling.

Keywords: mathematical modeling, massive rotor, combined structure, power quality, separator.

На кафедре электротехники и электрических машин ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» в ходе работ [1–6] по созданию электромеханических преобразователей энергии совмещенной конструкции был разработан с двигателем совмещенной конструкции [7], в котором массивный ротор электрической машины выполняет дополнительную функцию исполнительного органа сепаратора, в котором происходит процесс сепарирования газодонефтяной эмульсии [8] перед ее подачей в магистральные трубопроводы.

Для проведения комплексных исследований двигателя совмещенной конструкции центробежного сепаратора была разработана математическая модель двигателя совмещенной конструкции, реализованная в программном пакете MATLAB Simulink.

В процессе моделирования в качестве входных изменяющихся параметров были приняты следующие величины:

- величина амплитуды питающего напряжения, базовое значение действующего напряжения – 220 В, амплитудное значение базового напряжения – 311 В, диапазон изменения величины принят 10 % (в соответствии с [9] допустимо отклонение значения напряжения в пределах 10 %);
- значение частоты питающего напряжения, базовое значение – 50 Гц, диапазон изменения величины принят 0,8 % (согласно [9] допустимо отклонение в пределах 0,2 Гц);
- форма кривой питающего напряжения, базовое значение – форма кривой питающего напряжения содержит только 1-ую гармонику, при исследовании учитывалось, что форма кривой питающего напряжения может содержать не только 1-ую гармонику, но и высшие гармоники (комбинации 5-ой и 7-ой гармоник с 1-ой гармоникой).



На рисунках 1–4 представлены характеристики, полученные в результате вычислительного эксперимента. На рисунке 1 представлены графики зависимости пускового электромагнитного момента двигателя совмещенной конструкции центробежного сепаратора от амплитуды питающего напряжения при различных значениях частоты питающего напряжения. На рисунке 2 представлены графики зависимости установившейся скорости вращения ротора-барабана (рабочего органа центробежного сепаратора с двигателем совмещенной конструкции) от амплитуды питающего напряжения при различных значениях частоты питающего напряжения. На рисунке 3 показано как изменяется значение пускового электромагнитного момента двигателя совмещенной конструкции центробежного сепаратора при искажении синусоидальной формы кривой питающего напряжения высшими гармониками. На рис. 4 показано как изменяется значение установившейся скорости вращения ротора-барабана (рабочего органа центробежного сепаратора с двигателем совмещенной конструкции) при искажении синусоидальной формы кривой питающего напряжения высшими гармониками.

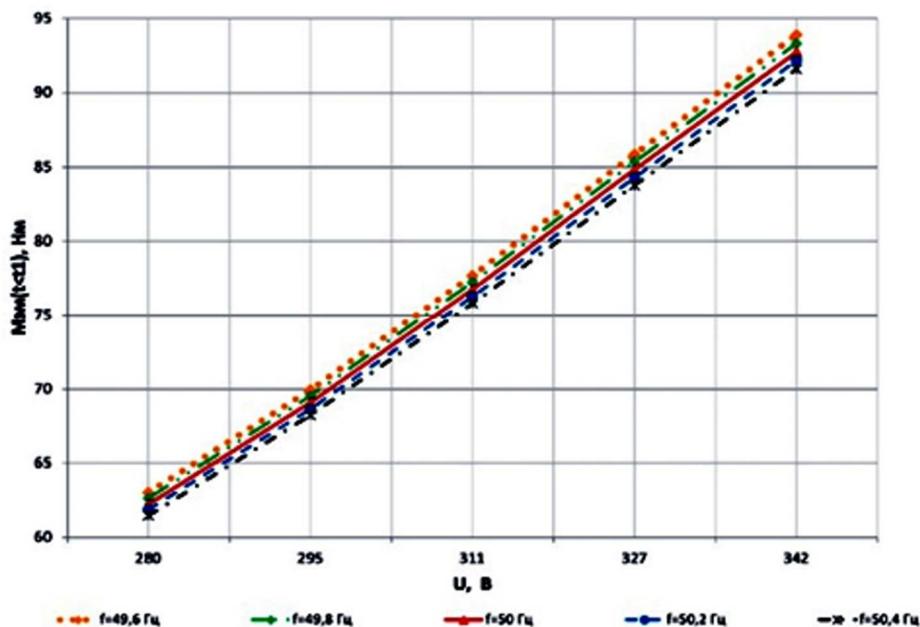


Рисунок 1 – График зависимости пускового электромагнитного момента двигателя совмещенной конструкции центробежного сепаратора от частоты и амплитуды питающего напряжения $M_{эм.пуск} = f(f, U)$

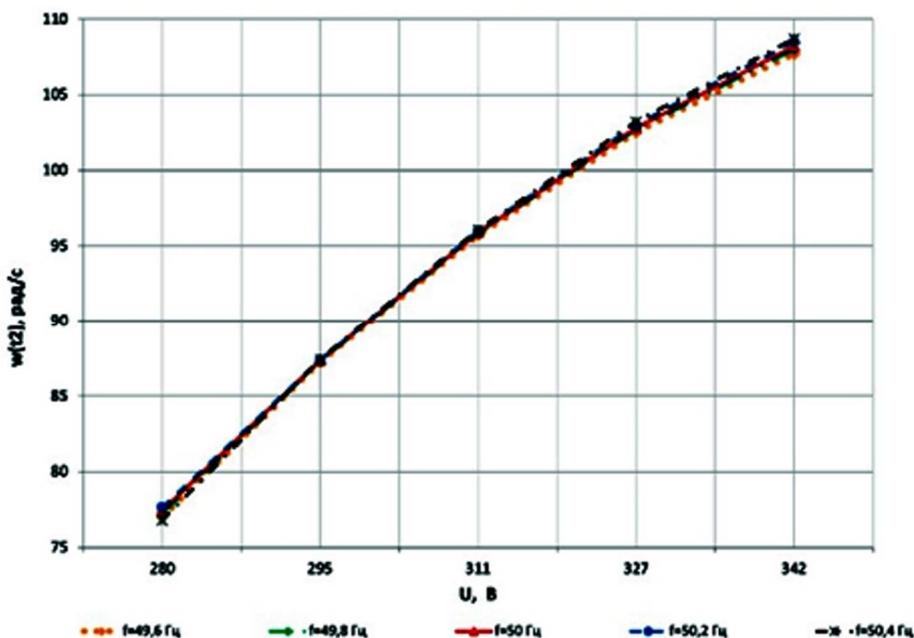


Рисунок 2 – График зависимости скорости вращения ротора-барабана (рабочего органа центробежного сепаратора с двигателем совмещенной конструкции) от частоты и амплитуды питающего напряжения $w = f(f, U)$

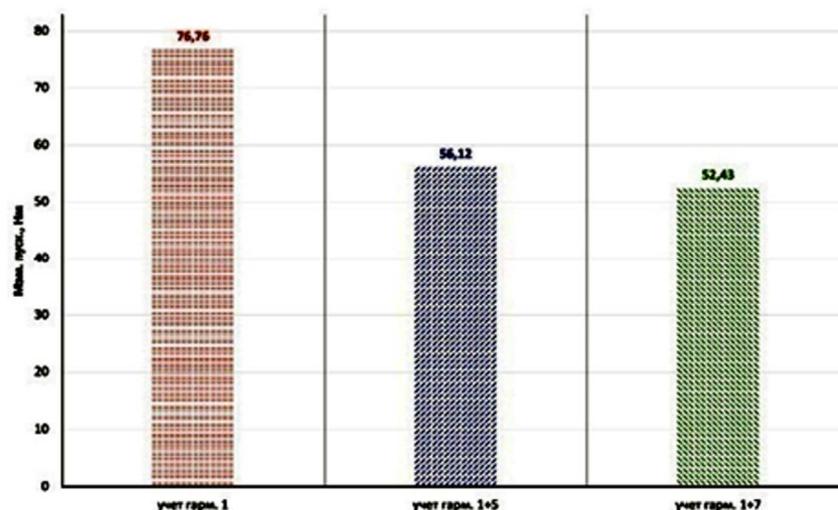


Рисунок 3 – Изменение значение пускового электромагнитного момента двигателя совмещенной конструкции центробежного сепаратора при искажении синусоидальной формы кривой питающего напряжения высшими гармониками

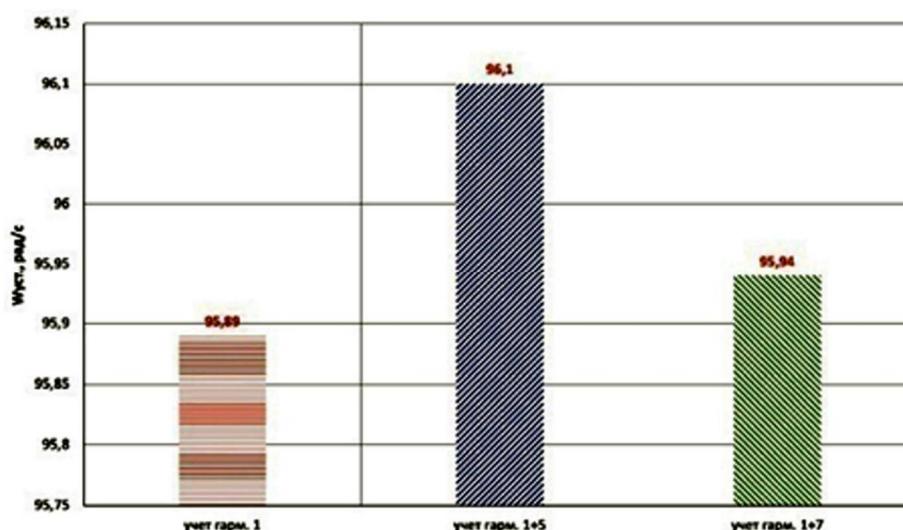


Рисунок 4 – Изменение значения установившейся скорости вращения ротора-барабана (рабочего органа центробежного сепаратора с двигателем совмещенной конструкции) при искажении синусоидальной формы кривой питающего напряжения высшими гармониками

На основании анализа характеристик приведенных на рисунке 1 видно, что увеличение величины амплитуды питающего напряжения приводит к увеличению пускового электромагнитного момента двигателя совмещенной конструкции центробежного сепаратора, это подтверждает положение $M \propto U^2$, изложенное в [10]. На основании анализа характеристик, приведенных на рисунке 2 видно, что увеличение величины амплитуды питающего напряжения приводит к увеличению скорости вращения ротора-барабана (рабочего органа центробежного сепаратора с двигателем совмещенной конструкции), это подтверждает положение $\omega \propto U$, при неизменном моменте сопротивления – M_c (нагрузка на валу) согласно [11].

При анализе рисунка 3 видно, что искажение синусоидальной формы кривой питающего напряжения высшими гармониками (пятой и седьмой) приводит к снижению пускового электромагнитного момента двигателя совмещенной конструкции центробежного сепаратора, что подтверждает положение о негативном влиянии высших гармоник на работу электропривода центробежного сепаратора по [12], так как наличие высших гармоник приводит к появлению «паразитических» моментов, уменьшающих величину электромагнитного момента двигателя.

При анализе рисунка 4 видно, что искажение синусоидальной формы кривой питающего напряжения высшими гармониками (пятой и седьмой) приводит к увеличению скорости вращения ротора-барабана сепаратора с двигателем совмещенной конструкции. Это обусловлено увеличением величины действующего напряжения, при наличии в составе питающего напряжения 5-й или 7-й высших гармоник ($U_{d.rap.1} = 220 \text{ В}$, $U_{d.rap.1+5} = 224,3 \text{ В}$, $U_{d.rap.1+7} = 222,2 \text{ В}$), что согласуется с положени-



ем $\omega \equiv U$, при неизменном моменте сопротивления – M_c (нагрузка на валу) по [11]. Негативное влияние высших гармоник, в частности 5-й и 7-й, уменьшается применением укороченного шага обмотки статора согласно [10].

Литература:

1. Сепаратор для переработки нефти совмещенной конструкции и его температурное поле / Я.М. Кашин [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № 5. – С. 86–99.
2. Разработка нового вида энергосберегающей установки для переработки нефти / Б.Х. Гайтов [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия «Естественно-математические и технические науки». – Майкоп : Изд-во АГУ, 2019. – № 3 (246). – С. 103–108.
3. Энергосберегающая установка для сепарирования нефти и определения ее параметров / Б.Х. Гайтов [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2019. – № 4 (120). – С. 58–62.
4. Отечественные и зарубежные установки для переработки нефти и перспективы их развития / Я.М. Кашин [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2020. – № 3 (125). – С. 12–18.
5. Gaytov B.K., Kim V.A., Koryun A.Z. Adjustment Characteristics of Resource Saving Unit for Oil Refining, 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – Vladivostok, Russia, 2019. – P. 1–5, doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934816.
6. Kashin Y.M., Kopelevich L.E., Kim V.A. Determination of the Parameters of the Electromagnetic System of the Installation for Oil Treatment // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – Sochi, Russia, 2020. – P. 1–7, doi: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9111990.
7. Пат. 2 706 320 Российская Федерация, МПК7 B04B 9/02, B04B 9/00, B04B 9/04, B04B 15/00. Сепаратор для полидисперсных жидких систем / Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Самородов А.В., Ким В.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». – № 2019111177; заявл. 12.04.19; опубл. 15.11.19, Бюл. № 32.
8. Эрих В.Н., Расина М.Г., Рудин М.Г. Химия и технология нефти и газа // Изд. 2-е, пер. – Л. : «Химия». – 1977. – 424 с.
9. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
10. Копылов И.П. Электрические машины: учебник для бакалавров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2012. – 675 с.
11. Данилов П.Е., Барышников В.А., Рожков В.В. Теория электропривода: учебное пособие. – М. : Берлин : Директ-Медиа, 2018. – 415 с.
12. Куцевалов В.М. Вопросы теории и расчета асинхронных машин с массивными роторами. – М. – Л. : Энергия, 1966.

References:

1. Separator for oil refining combined design and its temperature field / Y.M. Kashin [et al.] // Electronic network polytheme journal «Scientific Proceedings of the Kuban State Technical University». – 2019. – № 5. – P. 86–99.
2. Development of a new type of energy-saving unit for oil refining / B.Kh. Gaitov [et al.] // Bulletin of Adygeyan State University. Series «Natural-mathematical and technical sciences». – Maykop : Publishing house of ASU, 2019. – № 3 (246). – P. 103–108.
3. Energy-saving unit for oil separation and determination of its parameters / B.Kh. Gaitov [et al.] // Energoberezhenie i vodopodgotovka. – 2019. – № 4 (120). – P. 58–62.
4. Domestic and foreign installations for oil refining and prospects for their development / Y.M. Kashin [et al.] // Energoberezhenie i vodopodgotovka. – 2020. – № 3 (125). – P. 12–18.
5. Gaytov B.K., Kim V.A., Koryun A.Z. Adjustment Characteristics of Resource Saving Unit for Oil Refining, 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – Vladivostok, Russia, 2019. – P. 1–5, doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934816.
6. Kashin Y.M., Kopelevich L.E., Kim V.A. Determination of the Parameters of the Electromagnetic System of the Installation for Oil Treatment // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – Sochi, Russia, 2020. – P. 1–7, doi: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9111990.
7. Pat. 2 706 320 Russian Federation, IPK7 B04B 9/02, B04B 9/00, B04B 9/04, B04B 15/00. Separator for poly-disperse liquid systems / Kashin Y.M., Kopelevich L.E., Samorodov A.V., Kim V.A.; applicant and patent-holder «Kuban State Technological University». – № 2019111177; application. 12.04.19; publ. 15.11.19, Bulletin № 32.
8. Ehrich V.N., Rasina M.G., Rudin M.G. Chemistry and Technology of Oil and Gas // Ed. 2 nd, translated – L. : «Chemistry». – 1977. – 424 p.
9. GOST 32144-2013. Electrical energy. Compatibility of technical means electromagnetic. Standards of quality of electrical energy in power supply systems of general purpose.
10. Kopylov I.P. Electrical machines: textbook for bachelors. – 2nd edition, revised. and supplementary – M. : Publishing house Yurait, 2012. – 675 p.
11. Danilov P.E., Baryshnikov V.A., Rozhkov V.V. Theory of electric drive: tutorial. – M. : Berlin : Direct-Media, 2018. – 415 p.
12. Kutsevalov V.M. Issues of theory and calculation of asynchronous machines with massive rotors. – M. : L. : Energy, 1966.