УДК 621.30

СИСТЕМА ЖИДКОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АВТОНОМНОГО ВЕНТИЛЬНОГО ВЕТРОГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

LIQUID COOLING SYSTEM FOR AN AUTONOMOUS VALVE ALTERNATING CURRENT WIND GENERATOR

Кашин Яков Михайлович
кандидат технических наук,
заведующий кафедрой электротехники
и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет;
профессор кафедры авиационного
и радиоэлектронного оборудования,
Краснодарское высшее военное авиационное училище
летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова
jlms@mail.ru

Князев Алексей Сергеевич
кандидат технических наук,
доцент кафедры авиационного
и радиоэлектронного оборудования,
Краснодарское высшее военное авиационное училище
летчиков им. Героя Советского Союза А.К. Серова
knyazev.aleksei.87@yandex.ru

Либерман Вениамин Владимирович
студент кафедры электротехники и электрических машин,
Кубанский государственный технологический университет
venya.liberman@bk.ru

Аннотация. В статье представлена конструкция автономного вентильного ветрогенератора переменного тока с усовершенствованной системой охлаждения, позволяющей повысить надёжность ветрогенератора путем уменьшения вероятности перегрева его элементов: обмоток, подшипниковых узлов, выпрямителей.

Ключевые слова: гидронасос, форсунки, охлаждающая жидкость, трубопроводы охлаждения, входные и выходные полости.

Kashin Yakov Mikhailovich
Candidate of Technical Sciences,
Head of the Department
of Electrical Engineering
and Electrical Machines,
Kuban State Technological University;
Professor of the Department of Aviation
and Radio-Electronic Equipment,
Krasnodar Higher Military Aviation School
of Pilots named after the Hero
of the Soviet Union A.K. Serov
jlms@mail.ru

Knyazev Alexey Sergeevich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Aviation and Radioelectronic Equipment
Krasnodar Higher Military Aviation School
of Pilots named after the Hero
of the Soviet Union A.K. Serov
knyazev.aleksei.87@yandex.ru

Liberman Benjamin Vladimirovich
Student of the Department
of Electrical Engineering
and Electric Machines,
Kuban State Technological University
venya.liberman@bk.ru

Annotation. The article presents a design of an autonomous valve wind generator of alternating current with an improved cooling system that enhances the reliability of the wind generator by reducing the likelihood of overheating its components: windings, bearing assemblies, and rectifiers.

Keywords: hydraulic pump, injectors, coolant, cooling pipelines, inlet and outlet cavities.

Вентильные генераторы широко применяются в различных областях благодаря своей высокой эффективности. Некоторые сферы использования:

Энергетика. Вентильные генераторы позволяют преобразовывать энергию возобновляемых источников в электроэнергию синхронизироваться с промышленной сетью переменного тока [1].

Авиационная техника. На базе вентильных ветрогенераторов осуществляется резервное электроснабжение воздушного судна при отказе основной системы электроснабжения [2].

Мобильные ветро-солнечные электростанции. Вентильные генераторы позволяют создавать энергоэффективные автономные передвижные электростанции [3].

Однако, недостатком этих и другие вентильных ветрогенераторов [4–5] является тяжелый тепловой режим работы их элементов. Конструкция известных ветрогенераторов не обеспечивает достаточного теплоотвода от греющихся элементов: выпрямителей, обмоток возбуждения и обмоток якоря, подшипниковых узлов.

Перегрев выпрямителя может привести к необратимому тепловому пробою его диодов. Перегрев обмотки возбуждения или обмотки якоря может привести к пробою их изоляции и как следствие к межвитковому короткому замыканию и замыканию на корпус. Перегрев подшипниковых узлов приво-

дит к повышенному износу их рабочих деталей и изменению свойств смазочного материала. Изменение свойств смазочного материала также приводит к повышенному износу рабочих деталей подшипниковых узлов и, соответственно, преждевременному выходу их из строя. Всё вышеперечисленное приводит к снижению надёжности известных ветрогенераторов переменного тока.

На рисунке 1 представлена конструкция разработанного авторами автономного вентильного ветрогенератора переменного тока с усовершенствованной системой охлаждения [6].

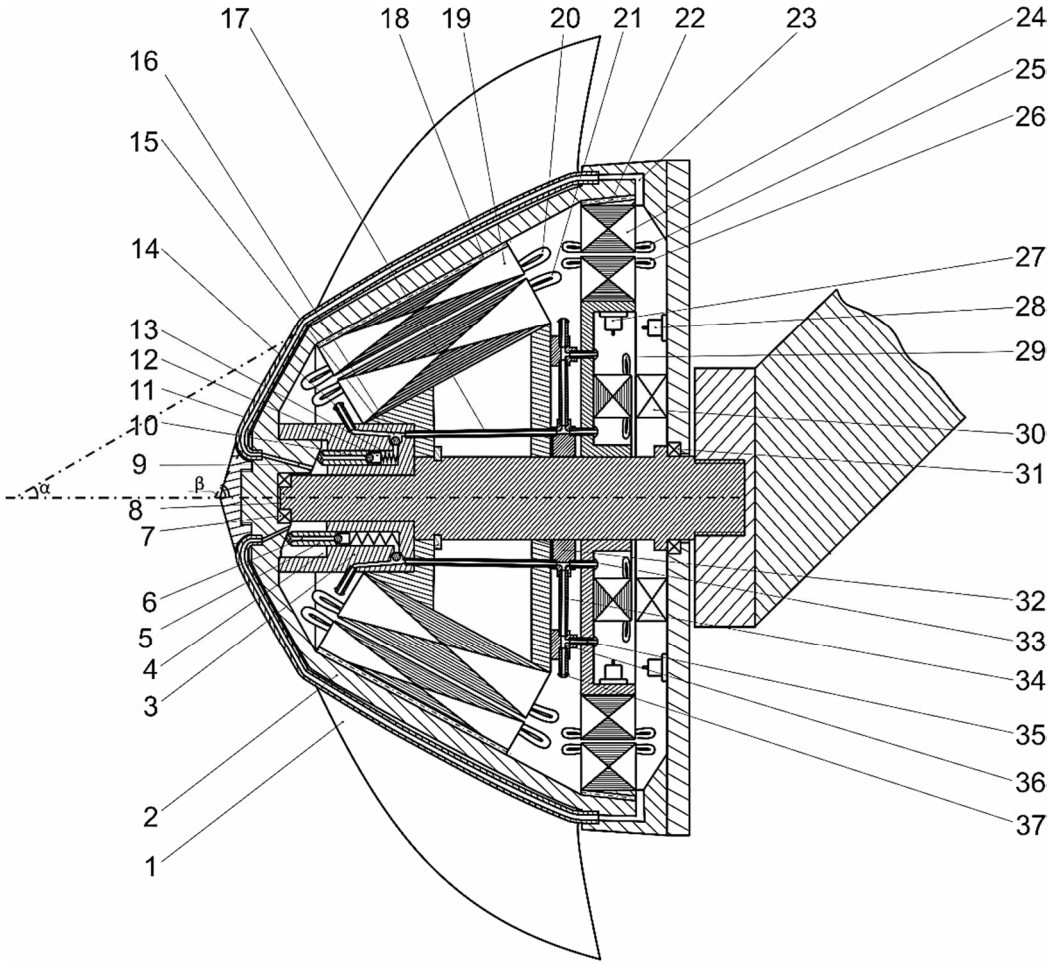

Рисунок 1 – Конструкция автономного вентильного ветрогенератора переменного тока (в разрезе)

Для обеспечения номинального теплового режима работы этого ветрогенератора авторами внутри его корпуса 1 установлена система жидкостного охлаждения, содержащая гидронасос, состоящий из корпуса 3 с полостью 4, восьми поршней 5 с полостями 6, пружинами 13, камерами всасывания 12 и камерами нагнетания 16, клапанами всасывания 10 и клапанами нагнетания 15.

Поршни 5 гидронасоса расположены вокруг неподвижной оси 8 и своей передней частью упираются во внутреннюю часть передней секции корпуса 2, выполненную в форме наклонной площадки, а своей задней частью поджаты пружинами 13.

Внутренняя часть передней секции корпуса 2 ветрогенератора выполнена в форме наклонной площадки с входными полостями 9, которые соединены с выходными полостями 23 трубопроводами охлаждения 13, огибающими внешнюю часть корпуса 2.

Между внутренней стороной боковой поверхности средней секции корпуса 2 и магнитопроводом 19 индуктора основного генератора проложены первые дренажные трубки 18, между внутренней стороной боковой поверхности задней секции корпуса 2 и радиальным магнитопроводом 24 якоря возбудителя проложены вторые дренажные трубки 22.

Передняя часть каждой камеры нагнетания 16 соединена со своей первой форсункой 14, а задняя часть каждой камеры нагнетания 18 соединена через свой аксиальный трубопровод 17, свой первый тройник 32 со своей второй форсункой 33 и одним концом своего радиального трубопровода 34, который другим концом соединён посредством своего второго тройника 36 со своими третьей 35 и четвёртой 37 форсунками.

Охлаждение внутренних элементов автономного вентильного ветрогенератора переменного тока осуществляется следующим образом. Охлаждающая жидкость, находящаяся в полости 4 корпуса 3 гидронасоса попадает на передний подшипниковый узел 7 и охлаждает его (рис. 1).

Благодаря наклону площадки передней секции корпуса 2 поршни 5 выдвинуты на разную длину. При вращении корпуса 2 наклонная площадка поворачивается. В результате этого каждый из поршней 5 совершает возвратно-поступательное движение и за один оборот корпуса 2 вокруг своей оси совершает одно возвратно-поступательное колебание. Фаза колебаний каждого поршня 5 сдвинута относительно соседних поршней на 1/8.

Фаза колебания 0° каждого поршня 5 соответствует его максимальному выходу (его пружина 13 максимально растянута), фаза 180° соответствует минимальному выходу поршня 5 (его пружина 13 максимально сжата).

В фазе 0° полость 6 поршня 7 соединена с полостью 4 гидронасоса, клапан 10 всасывания открыт. При этом охлаждающая жидкость поступает из полости 4 корпуса 3 гидронасоса в камеру всасывания 12 и заполняет её. После изменения фазы колебания поршня 5 подача охлаждающей жидкости прекращается, наклонная площадка внутренней части передней секции корпуса 2 давит на поршень 5, пружина 13 сжимается, поршень 5 перемещается к задней части корпуса 3 гидронасоса. При этом в камере всасывания 12 повышается давление, под действием которого открывается клапан нагнетания 15, и охлаждающая жидкость выдавливается поршнем 5 в камеру нагнетания 16. Так продолжается до достижения поршнем 5 крайнего заднего положения при фазе колебания 180°, в которой в камере нагнетания 16 создаётся максимальное давление. Из камеры нагнетания 16 при таком движении поршня охлаждающая жидкость перетекает к своей первой форсунке 14, а также через свой аксиальный трубопровод 17, первый тройник 32 к своей второй форсунке 33 и далее через свой радиальный трубопровод 34, свой второй тройник 36 к своим третьей 35 и четвёртой 37 форсункам.

Через первые форсунки 14 охлаждающая жидкость распыляется на лобовые части обмотки 20 возбуждения и обмотки 21 якоря основного генератора и охлаждает их. Через вторые форсунки 33 охлаждающая жидкость распыляется на лобовые части обмотки 29 якоря подвозбудителя, постоянные магниты 30 индуктора подвозбудителя и задний подшипниковый узел 31 и охлаждает их. Через третьи форсунки 35 охлаждающая жидкость распыляется на лобовые части обмотки 29 якоря подвозбудителя, диоды 27 и 28 выпрямителей и охлаждает их. Через четвёртые форсунки 37 охлаждающая жидкость распыляется на лобовые части обмотки 20 возбуждения и обмотки 21 якоря основного генератора, обмотки 25 якоря возбудителя, обмотки 26 возбуждения возбудителя и охлаждает их.

Таким образом, охлаждающая жидкость, попадая на горячие части перечисленных выше элементов ветрогенератора, отбирает у них тепло, облегчая тепловой режим их работы. Под действием центробежной силы распыленная охлаждающая жидкость перетекает по внутренней поверхности корпуса 2 от передней к средней секции через первые дренажные трубки 18, а далее от средней секции к задней секции через вторые дренажные трубки 22, попадая через выходные полости 23 в трубопроводы 11 охлаждения. Через трубопроводы 11 охлаждения охлаждающая жидкость поступает во входные полости 9 наклонной площадки передней секции корпуса 2 и из них в полости 4 корпуса 3 гидронасоса. Перетеканию охлаждающей жидкости по трубопроводам 11 охлаждения способствует понижение давления в полости 4 корпуса 3 гидронасоса при колебательном движении каждого из восьми поршней 5. Во время протекания нагретой охлаждающей жидкости через трубопроводы 11 охлаждения её тепло передается на внешнюю поверхность трубок и далее отбирается воздухом из атмосферы, обеспечивая понижение температуры охлаждающей жидкости для более эффективного охлаждения нагретых элементов ветрогенератора.

Список литературы

1. Кашин Я.М. Гибридные энергетические комплексы на базе разнородных возобновляемых источников энергии : монография / Я.М. Кашин; А.С. Князев, А.А. Широков; Под общей ред. Я.М. Кашина; ФГБОУ ВО «КубГТУ». – Краснодар : Издательство ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2024. – 256 с.

2. Кашин Я.М. Авиационные ветроэнергетические комплексы: современное состояние и перспективы развития : монография / Я.М. Кашин, А.С. Князев, А.А. Широков; Под общей ред. Я.М. Кашина; ФГКВОУ ВО «КВВАУЛ имени А.К. Серова». – Краснодар : Издательство ФГКВОУ ВО «КВВАУЛ», 2022. – 245 с.

3. Энергоэффективные мобильные ветро-солнечные электростанции : монография / О.В. Григораш [и др.]; Под общей ред. О.В. Григораша; ФГБОУ ВО «КубГАУ». – Краснодар : Издательство ФГБОУ ВО «КубГАУ», 2024. – 185 с.

4. Патент 2402858 RU. 12.10.2009. Аксиальный бесконтактный генератор постоянного тока / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Т.Б. Гайтова, А.Я. Кашин // Опубликовано 27.10.2010. Бюллютень № 30.

5. Патент 2633374 RU. 15.01.2016. Бесконтактный многофазный генератор переменного тока / Я.М. Кашин, А.Я. Кашин, А.С. Князев, А.В. Войнов // Опубликовано 12.10.2017. Бюллютень № 29.

6. Патент 2827650 RU, 28.11.2023. Автономный вентильный ветрогенератор переменного тока / Я.М. Кашин, А.С. Князев, В.В. Либерман // Опубликовано 01.10.2024. Бюллютень № 28.

List of references:

1. Kashiin Y.M. Hybrid Energy Complexes Based on Heterogeneous Renewable Energy Sources: Monograph / Y.M. Kashiin; A.S. Knyazev, A.A. Shirokov; Under the General Editorship of Y.M. Kashiin; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Technological University». – Krasnodar : Publishing House of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Technological University», 2024. – 256 p.

2. Kashiin Y.M. Aviation Wind Energy Complexes: Current State and Development Prospects: Monograph / Y.M. Kashiin, A.S. Knyazev, A.A. Shirokov; Under the General Editorship of Y.M. Kashiin; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Krasnodar Military Aviation School named after A.K. Serov». – Krasnodar : Publishing House of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Krasnodar Military Aviation School», 2022. – 245 p.

3. Energy-efficient mobile wind-solar power stations : monograph / O.V. Grigorash [et al.]; Edited by O.V. Grigorash; Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Kuban State Agrarian University». – Krasnodar : Publishing House of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Kuban State Agrarian University», 2024. – 185 p.

4. Patent 2402858 RU. 12.10.2009. Axial contactless DC generator / B.H. Gaitov, Ya.M. Kashin, T.B. Gaitova, A.Y. Kashin // Published 27.10.2010. Bulletin № 30.

5. Patent 2633374 RU. 15.01.2016. Contactless multiphase alternating current generator / Y.M. Kashin, A.Y. Kashin, A.S. Knyazev, A.V. Voynov // Published 12.10.2017. Bulletin № 29.

6. Patent 2827650 RU, 28.11.2023. Autonomous valve wind generator of alternating current / Y.M. Kashin, A.S. Knyazev, V.V. Liberman // Published 01.10.2024. Bulletin № 28.