Тип статьи: научная
УДК 621.313.12: 621.635
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-23-33

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ НАГРЕВА ГЕНЕРАТОРА Г1000В ПРИ РЕВЕРСИВНОМ ПРИМЕНЕНИИ

***Александр Иванович Петрашев*[1], *Виктор Валерьевич Клепиков*[2]**
[1, 2] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[1]vitin-10.pet@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-7949-6883, [2]viktrikt@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Иванович Петрашев, vitin-10.pet@mail.ru
Corresponding author: Alexander Petrashev, vitin-10.pet@mail.ru

Реферат. *Тракторный отечественный генератор Г1000В выбран в качестве мобильного источника энергии для нагрева вязких защитных материалов при консервации сельскохозяйственных машин. Привод генератора от ВОМ трактора с реверсивным вращением вала влево отрицательно влияет на вентиляцию и охлаждение его корпуса, приводит к снижению мощности. Исследования теплового режима работы генератора под нагрузкой 620 Вт показали, что при нормальном (правом) вращении колеса вентилятора корпус генератора нагревается на 10 ^{o}С. При реверсивном (левом) вращения колеса корпус нагревается до 60 ^{o}С, а мощность снижается на 4 %. При реверсивном применении эффективность охлаждения генератора радиальными лопатками практически не отличается от охлаждения лопатками с наклоном вперед. Для улучшения охлаждения корпуса генератора Г1000В при реверсивном применении выполнены изменения конфигурации и параметров колеса с радиальными лопатками. Обрезка ребер колеса на 1/3 высоты и выступов на периферии фланца со сгибом лопаток на 20° влево позволили снизить температуру нагрева генератора на 13 ^{o}С. Загиб назад концов радиальных лопаток под углом 40-45° к радиусу колеса способствовал уменьшению температуры корпуса генератора на 18 ^{o}С. В результате проведенных исследований получены параметры рациональной конфигурации колеса вентилятора для генератора Г1000В. Применение такого колеса обеспечило снижение в 2,8 раза тепловой нагрузки на генератор при реверсивном применении на навесном консервационном агрегате.*

Ключевые слова: *тракторный генератор, температурный режим, реверсивное применение, встроенный вентилятор.*

REDUCING OF THE HEATING LEVEL FOR THE G1000V GENERATOR IN REVERSE APPLICATION

***Alexander Petrashev* [1], *Viktor Klepikov* [2]**
[1, 2] *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1]vitin-10.pet@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-7949-6883, [2]viktrikt@mail.ru

Abstract. *Tractor domestic generator G1000V was chosen as a mobile power source for heating viscous protective materials during conservation of agricultural machines. Generator drive from tractor PTO with the reverse rotation of the shaft to the left negatively affects the ventilation and cooling of its body, and leads to a decrease in power. Studies of the thermal mode of operation of the generator under a load of 620 W showed that during normal (right) rotation of the fan wheel, the generator housing heats up by 10 °C. The wheel casing heats up to 60 °C during reverse (left) rotation, and the power is reduced by 4%. P The cooling efficiency of the generator with radial blades is practically the same as cooling with forward inclined blades in reverse application. Changes in the configuration and parameters of the impeller with radial blades are made in reverse application to improve the cooling of the G1000V*

generator housing. Cutting the wheel ribs by 1/3 of the height and the protrusions on the periphery of the flange with the blades bent by 20° to the left made it possible to reduce the generator heating temperature by 13°C. The backward bending of the ends of the radial blades at an angle of 40-45° to the radius of the wheel contributed to a decrease in the temperature of the generator housing by 18°C. The parameters of the rational configuration of the fan wheel for the G1000V generator were obtained as a result of the research. The use of such a wheel provided a 2.8-fold reduction in the thermal load on the generator during reverse use on a mounted conservation unit.

Keywords: *tractor generator, temperature regime, reverse application, built-in fan.*

Для цитирования: Петрашев А.И., Клепиков В.В. Снижение уровня нагрева генератора Г1000В при реверсивном применении // Наука в центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 23-33. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-23-33.

For citation: Petrashev A., Klepikov V. Reducing of the Heating Level for the G1000V generator in reverse application. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 23-33. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-23-33.

Введение. При постановке сельскохозяйственных машин и орудий на хранение их рабочие узлы покрывают консервационными составами для защиты от коррозии [1]. Механизированное нанесение жидкого консервационного состава посредством пневматического краскораспылителя невозможно без применения компрессорной установки для производства сжатого воздуха, напорного бака с регуляторами давления, кранами и шлангами для подачи состава и воздуха на распыление [2]. В случае нанесения загущенного состава, особенно, в условиях пониженной до 5 ^{o}C температуры воздуха, напорный бак должен быть оснащен ТЭН (220 В), а шланг для подачи состава – электрической спиралью [3]. Система управления нагревом ТЭН и спирали должна иметь пульт с автоматическими выключателями, сигнальными индикаторами, термометром и понижающим трансформатором для питания электроспирали. В такой комплектации консервационное оборудование можно использовать для нагрева и нанесения загущенного состава только при подключении к распределительным устройствам электросети 380/220 В [4] или к трехфазному бензогенератору мощностью не менее 4 кВт (на открытых площадках хранения). Для оперативного перемещения компрессорной установки, бензогенератора и консервационного оборудования к консервируемой технике потребуется привлечение трактора с тележкой. Подобная комплектация технических средств, необходимая для механизации консервационных работ на площадках хранения, представляется нерациональной и неудобной в обслуживании.

На площадках хранения более эффективным является применение навесного консервационного агрегата модели НКУ-50.3Н, оснащенного компрессором, обогреваемым напорным баком, обогреваемым шлангом с электроспиралью, генератором Г1000В (28-30 В, 1000 Вт) и валом приема мощности (ВПМ) для ременного привода компрессора и генератора. Электрическая энергия от генератора направляется на нагрев загущенного состава в напорном баке и в шланге при подаче на распыление [5].

Для работы агрегат навешивается на заднюю навеску колесного трактора, а его ВПМ посредством телескопического карданного вала соединяется с ВОМ трактора. Так как направление вращения ВОМ левое (со стороны мотора), то для агрегата выбран компрессор с левым вращением вала. Чтобы не усложнять кинематику привода и компоновку оборудования, генератор Г1000В предлагается установить идентично компрессору, при этом его ротор с колесом вентилятора будут вращаться тоже влево. В инструкции по эксплуатации [6] отсутствует запрет на использование генератора при левом вращении ротора. Однако, при левом вращение колеса вентилятора ожидается ухудшение охлаждения корпуса генератора и повышение его температуры. Перегрев генератора может отрицательно повлиять на его токоскоростную характеристику. Допустимые рабочие температуры эксплуатации генератора находятся в диапазоне от минус 40 до плюс 80 ^{o}C. Согласно сведениям из инструкции [6], в холодном состоянии генератор Г1000В при частоте вращения 3000 об/мин и напряжении 26,5 В должен обеспечивать ток нагрузки 32 А. В горячем состоянии при тех же показателях частоты вращения и напряжения генератор может обеспечивать ток нагрузки 24 А (на 6 А меньше). Эти расчеты подтверждают реальность снижения

мощности генератора на 18,7 % при его нагреве. Длительная работа силового электрооборудования в нагретом состоянии отрицательно влияет на качество изоляции обмоток и их ресурс.

Обмотки генератора выполнены из медного провода, удельное электрическое сопротивление которого $\rho_о$ = 0, 0175 Ом·м/мм^2 при 20 ^{o}C [7]. В процессе нагрева генератора сопротивление медной обмотки возрастает, ее температурный коэффициент сопротивления α = 0,0039 1/^{o}C. Из-за нагрева температура обмотки может увеличиться на ΔT, а удельное электрическое сопротивление возрастет до величины:

$$\rho_т = \rho_о(1 + \alpha \cdot \Delta T).$$

Потери мощности $\Delta P_о$ (Вт) генератора в проводах обмотки при температуре 20 ^{o}C:

$$\Delta P_о = \frac{U^2 S_п}{\rho_о L_п},$$

где $L_п$, $S_п$ – приведенные параметры длины (м) и площади сечения (мм^2) обмотки генератора, U – напряжение на клеммах генератора, В.

Потери мощности $\Delta P_т$ генератора в нагревающейся обмотке при увеличении ее температуры на ΔT:

$$\Delta P_т = \frac{U^2 S_п}{\rho_о(1 + \alpha \cdot \Delta T) L_п}.$$

Дополнительный прирост потерь мощности (%) на нагрев обмотки генератора при увеличении ее температуры на ΔT составит:

$$\frac{\Delta P_т - \Delta P_о}{\Delta P_о} \cdot 100\% = \alpha \cdot \Delta T \cdot 100\%.$$

Расчеты показывают, что при нагреве медной обмотки генератора от 20 до 70 ^{o}C (это допустимый температурный диапазон эксплуатации генератора) затраты мощности на преодоление возросшего электрического сопротивления увеличатся на 19,5 %. Затраченная энергия выделится из обмотки в виде теплоты, которая дополнительно повысит температуру генератора, если не будет эффективного охлаждения его корпуса.

Для того, чтобы силовая электрическая машина работала в номинальном тепловом режиме, применяют системы охлаждения, на работу которых тоже расходуют электроэнергию. Например, на современных электровозах расход электроэнергии на охлаждение тяговых двигателей составляет до 15 % от расхода энергии на тягу [8].

В зависимости от исполнения электрической машины поток охлаждающего воздуха может быть направлен либо на внешнюю поверхность машины (внешний обдув асинхронных электродвигателей), либо в вентиляционные каналы внутрь машины (внутреннее охлаждение автотракторных генераторов) к обмоткам, магнитопроводу и другим нагревающимся деталям [9, 10]. В асинхронном электродвигателе применена напорная система вентиляции [11]. Для создания напора охлаждающего воздуха, которым обдувается оребренный корпус статора, служит центробежный вентилятор, закрепленный на валу ротора. Радиальное исполнение лопаток вентилятора позволяет одинаково эффективно обдувать электродвигатель независимо от направления вращения ротора. В автотракторном генераторе применена вытяжная система вентиляции. В генератор встроен центробежный вентилятор, создающий разрежение у переднего (со стороны привода) подшипникового щита. Внешний воздух под действием разрежения протягивается через выпрямительный блок с регулятором напряжения, вентиляционные каналы статора и ротора, охлаждая обмотку и магнитопровод.

Встроенный вентилятор связан с ротором генератора, что накладывает определенные ограничения на его исполнение [11]:

- частота вращения колеса вентилятора зависит от частоты вращения ротора;
- параметры колеса вентилятора ограничены размерами генератора и местом его крепления на роторе генератора;
- протяжка охлаждающего воздуха через каналы генератора зависит от исполнения лопаток на колесе вентилятора.

Для реверсивной работы генератора рекомендуется [11] применение центробежного вентилятора с радиальными лопатками. Расчет вентилятора для генератора представляет собой решение системы двух уравнений, учитывающих аэродинамическую характеристику охлаждающих каналов генератора и аэродинамику вентилятора:

$$\begin{cases} H = A_{эк.}Q^2, \\ H = f(Q). \end{cases}$$

где H – давление (напор) воздушного потока; $A_{эк.}$ – аэродинамическое сопротивление охлаждающих каналов генератора; Q – расход воздуха.

Ограниченность данного подхода к расчету вентилятора для вытяжных систем вентиляции электромашин заключается в том, что в расчете учитывается напор вентилятора, а не разрежение, создаваемое им. Уместно полагать, что между напором и разрежением центробежного вентилятора существует определенная связь, но степень их корреляции авторами [11] не показана. Поэтому влияние параметров и конфигураций лопаток колеса вентилятора на температурный режим реверсивно работающего генератора приходится оценивать экспериментально.

Для охлаждения электродвигателей и генераторов применяют [11, 12] встроенные центробежные вентиляторы, содержащие колеса с лопатками различной конфигурации (рисунок 1). На высокооборотных нереверсивных электромашинах применяют лопатки с наклоном назад, на низкооборотных – лопатки с наклоном вперед, на реверсивных – радиальные лопатки.

Рисунок 1 – Конфигурация и параметры лопаток на колесе вентилятора: D – наружный диаметр колеса; L – длина лопатки; β_1 – угол наклона на входе; β_2 – угол наклона на выходе

Виноградов П.И. [12, 13] экспериментально установил, что для электромашин с небольшим аэродинамическим сопротивлением подходят вентиляторы, имеющие радиальные лопатки (β_2 = 90°) и лопатки с наклоном назад (β_2 = 140°). Автор считает, что для увеличения расхода охлаждающего воздуха применимы вентиляторы, оснащенные лопатками с наклоном вперед (β_2 = 40°), давление которых может в 2 раза превысить давление вентиляторов с радиальными лопатками.

Проведенный анализ позволяет полагать, что рациональное решение задачи охлаждения корпуса генератора Г1000В, устанавливаемого на консервационном агрегате НКУ-50Н, возможно путем замены (или реконструкции) имеющегося колеса вентилятора на колесо с иной конфигурацией лопаток, соответствующей левому вращению ротора. В связи с отсутствием в серийном производстве колес вентиляторов с лопатками для левого вращения ротора генератора, предлагается оценить эффективность изменения конфигурации лопаток колес правого вращения.

Цель исследования – оценка динамики изменения температурного режима корпуса генератора Г1000В под нагрузкой при изменении параметров конфигурации лопаток на колесе его вентилятора.

Материалы и методы. В генераторе Г1000В вентилятор выполнен в виде колеса, содержащего 11 лопаток с наклоном назад. Это колесо взаимозаменяемо с колесом, имеющим 10 радиальных лопаток. На рисунке 2 показаны генератор Г1000В и оба колеса, вид колес со стороны заднего подшипникового щита генератора. Стрелкой указывается нормальное направление вращения колес (со стороны заднего подшипникового щита) при работе генератора в составе дизельного двигателя.

Рисунок 2 – Исполнение колес вентилятора для генератора Г1000В

Для экспериментального исследования режимов охлаждения корпуса генератора при работе под нагрузкой изготовлен испытательный стенд, схема которого показана на рисунке 3.

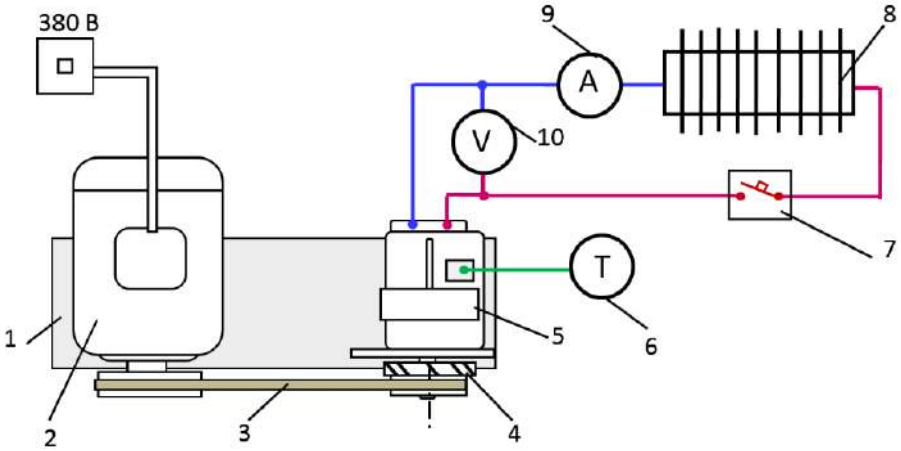

Рисунок 3 – Схема стенда для исследования режимов охлаждения корпуса генератора Г1000В:
1 – платформа; 2 – электродвигатель; 3 – ременная передача; 4 – колесо вентилятора;
5 – генератор; 6 – термометр электронный; 7 – выключатель; 8 – нагрузочное сопротивление;
9 – амперметр; 10 – мультиметр

Стенд состоит из платформы 1, на которой размещены электродвигатель 2 и генератор 5, соединенные клиноременной передачей 3. На корпусе генератора закреплен и внешне теплоизолирован датчик электронного термометра 6. К выводным контактам генератора подключена электрическая цепь с выключателем 7 и нагрузочным сопротивлением 8 на 20 Ом из нихромовой проволоки. В электрическую цепь также включены лабораторный аналоговый амперметр 10 для измерения силы тока и мультиметр 10 для измерения напряжения. Для измерения частоты вращения валов электродвигателя и генератора использовали механический тахометр часового типа.

В процессе исследования изменяли направление вращения валов электродвигателя и генератора путем переключения обмоток электродвигателя; механически изменяли конфигурацию радиальных лопаток на колесе вентилятора; меняли колеса 4 вентилятора на валу генератора. При включении стенда регистрировали показания температуры по термометру 6, силы тока – по амперметру 9, напряжения – по мультиметру 10, частоты вращения валов – по тахометру.

Мощность $P_н$ (Вт), затрачиваемую на нагрев нагрузочного сопротивления, рассчитывали по формуле:

$$P_н = I_н U_н,$$

где $I_н$ – ток нагрузки, А; $U_н$ – напряжение на клеммах генератора, В.

Результаты и их обсуждение

В процессе исследования привод генератора осуществлялся от электродвигателя АИР 80, номинальная мощность которого $P_{эл}$ = 2,2 кВт, номинальное число оборотов вала $n_{эл}$ = 2850 об/мин. Фактическое число оборотов вала под нагрузкой 0,62 кВт составило $n_{эл.н}$ = 2980 об/мин. Благодаря повышающей ременной передаче число оборотов вала генератора под нагрузкой увеличилось до $n_г$ = 3750 об/мин. Этим оборотам вала по токоскоростной характеристике [6] соответствовал ток генератора $I_г$ = 32 А и мощность $P_г$ = 900 Вт (рисунок 4).

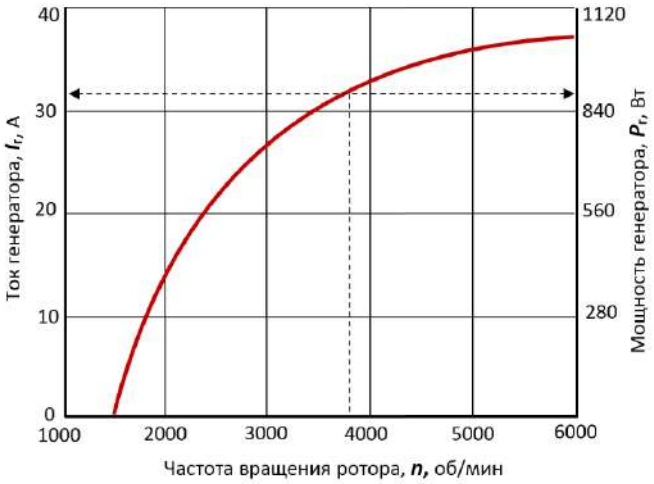

Рисунок 4 – Токоскоростная характеристика генератора Г1000В

Во время опытов регистрируемая сила тока, протекавшего через нагрузочное сопротивление, изменялась в диапазоне 20 А ≤ $I_н$ ≤ 21 А, а напряжение на клеммах генератора 29,6 В ≤ $U_н$ ≤ 30,2 В. Колебания тока и напряжения были обусловлены изменением теплового состояния корпуса генератора. На рисунке 5 отражены параметры нагрева корпуса генератора Г1000В при работе под нагрузкой в зависимости от времени работы, наклона лопаток на колесе вентилятора и направления вращения вала генератора.

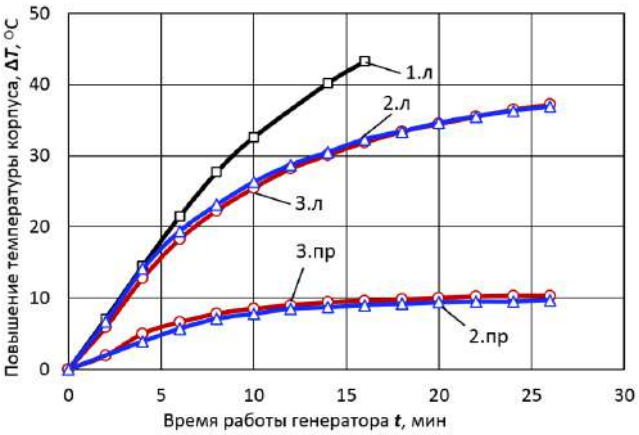

Рисунок 5 – Динамика повышения температуры корпуса генератора Г1000В в зависимости от исполнения вентилятора (1.л – без колеса вентилятора; 2.л – лопатки колеса наклонены вперед, 2.пр – лопатки колеса наклонены назад; 3.л, 3.пр – радиальные лопатки) и направления вращения колеса (2.л, 3.л – левое вращение; 2.пр, 3.пр – правое вращение)

Исследование показало, что при работе генератора без вентилятора в течение 15 мин (график 1.л), температура его корпуса повысилась от 22 до 65 °С (на 43 °С). В случае работы генератора с разными колесами вентилятора, на интенсивность нагрева корпуса практически не влияли углы β_2

наклона их лопаток. В большей мере интенсивность нагрева зависела от направления вращения колес. При правом (нормальном) вращении колес температура корпуса за 15 мин поднялась на 8-9 °С, а за 27 мин. вышла на стабильный температурный уровень, который в дальнейшем на 9-10 °С превышал температуру окружающего воздуха (графики 2.пр и 3.пр). Если правое направление вращения колес изменяли на левое (реверсивное), то степень охлаждения генератора существенно ухудшалась: по истечении 15 мин. работы температура корпуса повысилась на 31 °С, а через 27 мин. с начала опыта – на 37-38 °С (графики 2.л и 3.л) и сохранила тенденцию к росту.

Мощность, потребляемая нагрузочным сопротивлением, снижалась в процессе нагрева корпуса генератора. На рисунке 6 сгруппированы данные по потребляемой мощности для различных вариантов охлаждения корпуса генератора, и проведены линии тренда в каждой группе. Влияние температуры корпуса генератора на мощность, потребляемую нагрузочным сопротивлением, в общем виде описывалось степенной функцией:

$$P_{н} = aT^{-b},$$

где a – эмпирический коэффициент, $a > 600$; b – эмпирический показатель степени, $b < 0{,}07$.

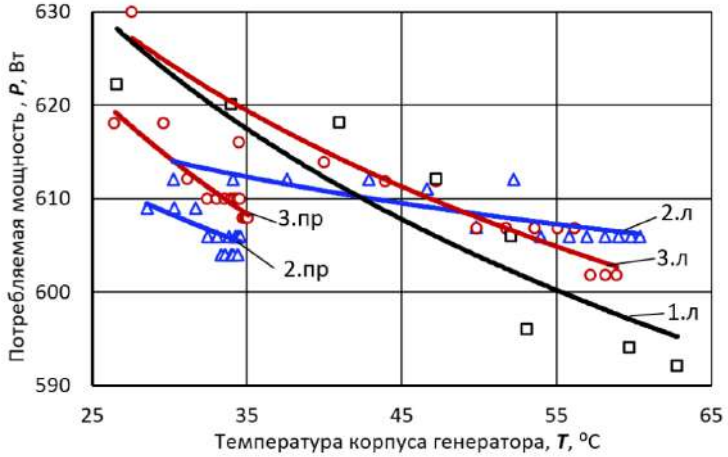

Рисунок 6 – Влияние температуры корпуса генератора на мощность, потребляемую нагрузочным сопротивлением, при работе генератора: без вентилятора (1.л); для левого вращения колеса, лопатки с наклоном вперед (2.л) и радиальные (3.л); для правого вращения колеса, лопатки с наклоном назад (2.пр) и радиальные (3.пр)

Установлено, что при работе генератора без вентилятора, его корпус за 15 мин. нагрелся до 65 °С, а величина потребляемой мощности снизилась на 5,5 %. При работе с нормальным правым вращением обоих колес вентилятора, корпус генератора в течение 27 мин. нагревался до 31-32 °С, а потребляемая мощность снижалась всего на 1,0-1,8 %. Если направление вращения вала с колесами меняли на левое, то корпус за 27 мин. нагревался до 59-60 °С, а мощность снижалась на 1,4-4 %. Полученные данные, отражающие способность вентилятора с радиальными лопатками охлаждать корпус генератора при реверсивном применении, несколько отличались от рекомендаций источников [12, 13]. Оказалось, что при реверсивном (левом) вращении колеса вентилятора, эффективность охлаждения радиальными лопатками практически не отличалась от охлаждения лопатками, вращающимися с наклоном вперед (см. рисунок 5).

Конструктивно, с тыльных сторон радиальных лопаток выполнены ребра, которые могли бы повлиять на отток воздуха из вентилятора при левом вращении колеса. По всей видимости, при вращении колеса вправо лопатки гонят воздух не только в радиальном направлении, но и в осевом, в сторону шкива привода генератора. Так как диаметр шкива равен $d_{ш}$ = 91 мм, а диаметр фланца колеса вентилятора до нижней кромки лопаток равен $d_{ф}$ = 89 мм, то шкив не перекрывает просвет между радиальными лопатками. Поэтому часть потока воздуха может беспрепятственно сходить с радиальных лопаток вдоль оси к шкиву, повышая производительность вентилятора по протяжке воздуха через вентиляционные каналы генератора.

В случае изменения направления вращения колеса вентилятора на левое, ребра находятся с

фронтальной стороны лопаток и препятствуют осевому перемещению воздуха в сторону шкива. Это, вероятно, приводило к снижению производительности вентилятора и отвода теплоты от генератора. Полагаем, что повысить эффективность охлаждения корпуса генератора при реверсивном вращении его вала возможно путем внесения конструкционных изменений в конфигурацию радиальных лопаток, их ребер и фланца на колесе вентилятора.

Результаты исследований по оценке влияния изменений, внесенных в конфигурацию колеса вентилятора с радиальными лопатками, на нагрев корпуса генератора показаны на рисунке 7.

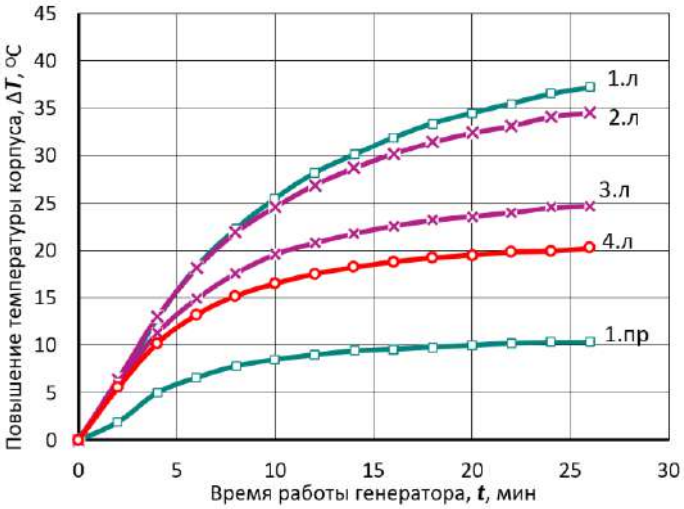

Рисунок 7 – Динамика повышения температуры корпуса генератора Г1000В в процессе изменения конфигурации радиальных лопаток и фланца на колесе вентилятора при правом (1.пр) и левом (1.л, 2.л, 3.л, 4 л) вращении вала; пояснения по внесенным изменениям – в тексте

В заводской конфигурации колеса вентилятора плоскости радиальных лопаток расположены вдоль оси вала. Процесс нагрева корпуса генератора при использовании колеса с лопатки заводской конфигурации характеризуется графиком 1.л – для левого вращения и графиком 1.п – для правого вращения вала. Остальные графики отражают степень влияния конструкционных изменений лопаток, ребер и фланца в заводском колесе вентилятора на нагрев работающего генератора при левом вращении его вала. График 2.л – тыльные ребра лопаток обрезаны по диагонали, плоскости лопаток наклонены влево на 12° к оси колеса. График 3.л – тыльные ребра лопаток обрезаны на 1/3 высоты, обрезаны выступы на периферии фланца, плоскости лопатки наклонены влево на 20°. График 4.л – тыльные ребра лопаток обрезаны на 1/3 высоты, срезаны выступы на периферии фланца, плоскости лопаток наклонены влево на 20°, верхние концы лопаток загнуты назад (для левого вращения со стороны привода) на угол 40-45° к радиусу колеса. При этом угол наклона лопаток на выходе (см. рисунок 1) составляет β_2 = 130-135°.

Согласно данным, отраженным на графиках 1.пр и 1.л, при нормальном правом вращении заводского колеса вентилятора корпус генератора в течение 27 мин работы нагрелся на $\Delta T_н$ = 10 °C, а при левом реверсивном – на ΔT_1 = 38 °C. В случае левого вращения заводского колеса, перегрев корпуса составил 280 %. Обрезка ребер колеса по диагонали и наклон лопаток влево на 12° позволили снизить температуру нагрева работающего генератора на 4 °C (ΔT_2 = 34 °C), перегрев корпуса генератора составил 240 %.

Дальнейшая обрезка ребер колеса на 1/3 высоты и выступов на периферии фланца с наклоном лопаток на 20° влево обеспечили снижение температуры нагрева генератора на 13 °C (ΔT_3 = 25 °C). При этом перегрев корпуса генератора относительно номинального составил 150 %. Этот результат указывает на рост доли осевой составляющей в потоке воздуха, протягиваемом колесом данной конфигурации через вентиляционные каналы генератора.

Дополнительный загиб назад концов радиальных лопаток под углом 40-45° к радиусу колеса способствовал уменьшению температуры корпуса генератора еще на 5 °C (до ΔT_4 = 20 °C). Благодаря этому изменению конфигурации лопаток колеса, перегрев корпуса генератора составил

10 °С от номинального (или 100 %). На рисунке 8 изображены заводское колесо вентилятора с радиальными лопатками и его рациональная конфигурация после реконструкции под реверсивное (левое) вращение вала генератора.

По сравнению с заводским колесом, рациональная конфигурация колеса вентилятора обеспечила снижение в 2,8 раза возросшей тепловой нагрузки на генератор при реверсивном применении. Тем самым в генераторе был достигнут близкий к нормальному уровень охлаждения фазных обмоток, обмотки возбуждения, выпрямительного блока и регулятора напряжения.

Рисунок 8 – Конфигурация заводского колеса вентилятора с радиальными лопатками для правого вращения вала генератора и после его реконструкции для левого вращения (вид со стороны заднего подшипникового щита)

Генератор Г1000В с модернизированным колесом вентилятора был установлен на навесной консервационный агрегат НКУ-50.3Н (рисунок 9).

Рисунок 9 – Навесной консервационный агрегат НКУ-50.3Н с генератором Г1000В (указан стрелкой), оснащенным модернизированным колесом вентилятора

Агрегат навешивали на заднюю навеску трактора МТЗ-80, посредством карданного вала соединяли с его ВОМ и применяли на полевом стане КПЗ им. Ленина Тамбовского р-на в сезон постановки техники на хранение для нагрева и нанесения загущенного отработанного масла на рабочие механизмы сельхозмашин. Электроэнергию, вырабатываемую генератором, использовали для питания низковольтного ТЭН (29 В, 350 Вт) в напорном баке при подогреве загущенного масла и для питания электроспирали (29 В, 250 Вт) в шланге подачи нагретого масла на распыление. В процессе длительного использования агрегата на открытом воздухе при температуре +5 °С, генератор нагревался до 24 °С и работал без вибраций.

Заключение. Исследования показали, что интенсивность нагрева корпуса генератора, работающего под нагрузкой, в большей мере зависит от направления вращения колеса

встроенного вентилятора. При правом вращении колеса с радиальными лопатками, корпус генератора в течение 27 мин. нагрелся на 10 ^{o}C (до 32 ^{o}C), а потребляемая мощность снизилась на 1,8 %. При левом вращения колеса за это же время корпус нагрелся до 60 ^{o}C, а мощность снизилась до 4 %. При реверсивном (левом) вращении эффективность охлаждения генератора радиальными лопатками практически не отличалась от охлаждения лопатками, вращающимися с наклоном вперед.

Для улучшения охлаждения корпуса генератора Г1000В при реверсивном применении выполнены изменения конфигурации и параметров колеса с радиальными лопатками. Сгиб лопаток на 12° влево и обрезка их ребер по диагонали позволили снизить температуру нагрева работающего генератора на 4 ^{o}C. Обрезка ребер на 1/3 высоты лопаток и выступов на периферии фланца со сгибом лопаток на 20° влево обеспечили снижение температуры нагрева генератора на 13 ^{o}C. Этот результат свидетельствовал о росте осевой составляющей в потоке воздуха, протягиваемом колесом данной конфигурации через вентиляционные каналы генератора. Дополнительный загиб назад концов радиальных лопаток под углом 40-45° к радиусу колеса способствовал уменьшению температуры корпуса генератора еще на 5°C благодаря увеличению радиальной составляющей в потоке охлаждающего воздуха. При этом различие между температурами корпуса генератора для левого и правого вращения составило 10°C.

В целом, проведенные слесарные операции по реконструкции штатного колеса вентилятора с радиальными лопатками, позволили улучшить вентиляцию генератора Г1000В при реверсивном применении, тем самым снизить температуру нагрева его корпуса на 18 ^{o}C и выйти на стабильный температурный режим работы, который, примерно, на 20°C выше температуры окружающего воздуха.

Список источников

1. Vigdorovich V.I., Shel' N.V. Theoretical Foundations and Practical Development of Few-Component Anticorrosive Oil-Based Conservation Materials // Protection of Metals. 2005. Vol. 41, Issue 4. P. 394-401. doi: https: doi.org/10.1007/s11124-005-0055-7.

2. Петрашев А.И. Условия применения технических средств при консервации сельхозмашин // Техника в сельском хозяйстве. 2003. № 1. С.27-29. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id =21628090 (дата обращения 25.01.2023).

3. Петрашев А.И., Князева Л.Г. Повышение пропускной способности шланга с электронагревательной спиралью для подачи загущенного консерванта на распыление // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31. № 4. С. 559-576. doi: https:doi.org/10.15507/2658-4123.031.202104.559-576

4. Петрашев А.И. Совершенствование технологических процессов консервации сельскохозяйственной техники при хранении // Техника и оборудование для села. 2009. № 6. С. 35-38. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12534567 (дата обращения 25.01.2023).

5. Навесной агрегат для консервации сельхозмашин в полевых условиях: патент 2752928 Российская Федерация / Петрашев А.И., Остриков В.В., Клепиков В.В. № 2020141478; заявл. 15.12.2020; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23. 14 с. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=46477896 (дата обращения 25.01.2023).

6. Чебоксарский завод генераторов «Электром». Генераторы модификации Г1000 и Г1000В. Руководство по эксплуатации ГЛЦИ.525266.001-00 РЭ. Версия 1.1. Чебоксары, 2005. 22 с. [Электронный ресурс]. URL: http://tad74.ru/f/generator-g1000.pdf (дата обращения 25.01.2023).

7. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1988. 256 с.

8. Логинова Е.Ю. Совершенствование методов анализа теплового состояния тяговых электродвигателей тепловозов и характеристик их систем охлаждения: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.22.07/ Моск. гос. ун-т путей сообщения (МИИТ). Москва, 2000. 48 с. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01000235440 (дата обращения 25.01.2023).

9. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. / Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т. 1. М.: Энергоатомиздат, 1988. 456 с.

10. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. М.: Высшая школа, 1989. 239 с.

11. Тюков В.А., Честюнина Т.В., Бухгольц Ю.Г. Теплопередача, вентиляционные и тепловые

расчеты в электромеханике. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. 248 с.

12. Виноградов В.И. Исследование вентиляторов электрических машин. Л.: Энергия, 1970. 91 с.

13. Виноградов В.И. Вентиляторы электрических машин. Л.: Энергоиздат. 1980. 200 с.

References

1. Vigdorovich V.I., Shel' N.V. Theoretical Foundations and Practical Development of Few-Component Anticorrosive Oil-Based Conservation Materials. *Protection of Metals*. 2005; 41(4):394-401. (In Eng.) doi: https:doi.org/10.1007/s11124-005-0055-7.

2. Petrashev A.I. Conditions for the Use of Technical Means in the Conservation of Agricultural Machinery. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve* = Technique in Agriculture. 2003; 1:27-29. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21628090 (accessed 25.01.2023). (In Russ.)

3. Petrashev A.I., Knyazeva L.G. Increasing the Flow Capacity of Hose with Electrical-Heater Coils to Supply Thickened Preservative for Spraying. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2021; 31(4):559-576. doi: https:doi.org/10.15507/2658-4123.031.202104. 559-576

4. Petrashev A.I. Improvement of Technological Processes of Conservation of Agricultural Machinery During Storage. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2009; 6:35-38. Available at: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12534567 (accessed 25.01.2023). (In Russ.)

5. Petrashev A.I., Ostrikov V.V., Klepikov V.V. Mounted Unit for Conservation of Agricultural Machinery in the Field. Patent 2752928 Russian Federation. 2021 August 11. 14 p. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=46477896 (accessed 25.01.2023). (In Russ., abstract in Eng.)

6. Cheboksary Plant of Generators Elektrom. Modification Generators G1000 and G1000V. Operation Manual GLTSI.525266.001-00 RE. Version 1.1. Cheboksary, 2005. 22 p. Available at: http://tad74.ru/f/generator-g1000.pdf (accessed 25.01.2023). (In Russ.)

7. Koshkin N.I., Shirkevich M.G. Handbook of Elementary Physics. M.: Nauka, 1988. 256 p.

8. Loginova E.Yu. Improving Methods for Analyzing the Thermal State of Traction Electric Motors of Diesel Locomotives and the Characteristics of their Cooling Systems: dis. abstract … dr. of tech. scien.. Moscow, 2000. 48 p. Available at: https://search.rsl.ru/ru/record/01000235440 (accessed 25.01.2023). (In Russ.)

9. Handbook of Electrical Machines: in 2 vol. / Ed. ed. I.P. Kopylov and B.K. Klokov. Vol. 1. Moscow: Energoatomizdat, 1988. 456 p.

10. Sipailov G.A., Sannikov D.I., Zhadan V.A. Thermal, Hydraulic and Aerodynamic Calculations in Electrical Machines. Moscow: Higher school, 1989. 239 p.

11. Tyukov V.A., Chestyunina T.V., Bukhgolts Yu.G. Heat Transfer, Ventilation and Thermal Calculations in Electromechanics. Novosibirsk: Publishing House of NSTU, 2013. 248 p.

12. Vinogradov V.I. Research of Fans of Electric Machines. Leningrad: Energy. 1970. 91 p.

13. Vinogradov V.I. Fans of electrical machines. Leningrad: Energoizdat. 1980. 200 p.

Информация об авторах

А.И. Петрашев - доктор технических наук; В.В. Клепиков - кандидат технических наук.

Information about the authors

A. Petrashev - Doctor of Technical Sciences; V. Klepikov - Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов: А.И. Петрашев – обзор литературы, формулировка цели и выводов, анализ результатов исследований; В.В. Клепиков – проведение экспериментальных исследований, обработка результатов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: A. Petrashev – literature review, formulation of the goal and conclusions, analysis of research resultsV. Klepikov – conducting experimental studies, processing the results.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 15.01.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.02.2023