

## МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

А.В. Пузанов (ФГБОУ ВО «Ковровская государственная  
технологическая академия им. В.А. Дегтярева»)

Реализация геополитических интересов РФ в Арктике требует необходимости обеспечения работоспособности мобильной техники, ее узлов и компонентов в условиях низких температур. Одним из сложных технических процессов является запуск на морозе. Статья посвящена решению проблемы прогрева аппаратуры блока управления приводами до диапазона их рабочих температур за минимальное время и с минимальным тепловым градиентом, исключая термодеструкцию.

Ключевые слова: система управления приводами, тепловой режим работы, моделирование нагрева.

Реализация геополитических интересов РФ в Арктике [1] требует обеспечения постоянного присутствия и охраны интересов на территории с низкотемпературными климатическими условиями.

Условия работы мобильной техники в арктических и субарктических условиях эксплуатации характеризуются низкой температурой окружающей среды ( $\leq -60$  °С). Нижняя граница температуры эксплуатации для большинства электронных компонентов составляет  $-40$  °С (ГОСТ 15150-69) (для отдельных узлов, например, ЖК дисплеев,  $< -20$  °С)

Таким образом, необходимо за минимальное время обеспечить температурные условия для штатного функционирования всех систем (управления, основных и вспомогательных).

В частности, необходимо обеспечить минимальную рабочую температуру блока управления приводами. Сложность этой задачи определяется особенностями конструкции мобильной техники: ограниченными энергетическими ресурсами (как правило, запуск осуществляется посредством аккумулятора с ослабленными под воздействием низких температур характеристиками), плотностью конструктивной компоновки основных и вспомогательных узлов и агрегатов, а также используемой цифровой техникой, чувствительной к перепадам температур. Все это определяет сложность и актуальность научно-технической задачи обеспечения комфортного режима работы силовых электро-гидроприводов мобильной техники и систем их управления.

Основными факторами климатического воздействия окружающей среды на мобильную технику и ее элементы являются:

- температура, плотность и относительная влажность окружающей воздушной среды;
- движение воздушного потока и присутствие в нем инородных примесей: снег, иней, пыль, роса, туман и т.п.;
- солнечная радиация.

*Воздействие на уровне системы.* С изменением температуры рабочей жидкости существенно меняются ее вязкость и плотность — увеличиваются ее сжимаемость и количество растворенного в ней воздуха. Эти изменения свойств жидкости, прежде всего, влияют на дина-

мические характеристики гидроприводов рулевых механизмов и иных следящих систем управления.

*Воздействие на уровне деталей.* Другим следствием изменения температурного режима гидропривода является изменение геометрических размеров его конструктивных элементов. Для сопряженных пар, изготовленных из материалов с различным коэффициентом теплового расширения, изменение теплового режима работы может привести к изменению зазоров, что может изменить характер взаимодействия и приводит к снижению их долговечности и выходу из строя [9]. Для элементов гидроавтоматики такие температурные деформации могут привести к существенным изменениям их гидравлических характеристик.

*Воздействие на уровне свойств материалов.* В процессе эксплуатации приводов температурные воздействия прежде всего сказываются на ухудшении состояния уплотнений, что приводит к нарушению герметичности объемов. Герметичность уплотнительного узла зависит от контактного давления в уплотнении и от вязкости рабочей жидкости для гидравлики или смазывающей жидкости для редукторов, подшипников и т.п.

При длительном воздействии максимальных или минимальных температур происходят необратимые изменения в уплотнительных узлах, потеря эластичных свойств и их старение. Это резко сокращает срок службы уплотнений и существенно влияет на надежность гидропривода.

Для обеспечения функциональной работы оборудования в условиях низких и сверхнизких (арктических) температур применяются дополнительные элементы генерации теплоты.

Расположение нагревательных элементов на корпусных деталях обеспечивает более равномерный нагрев, но корпус свой внешней поверхностью взаимодействуя с внешней средой, охлаждается. Тем самым увеличивается время, в течение которого достигаются значения нижнего диапазона рабочих температур внутреннего оборудования. Расположение нагревательных элементов на или возле температурно чувствительного оборудования обеспечивает высокий градиент распределения температуры по конструкции, что приводит к термодеструкциям, особенно при использовании материалов с различными физическими свойствами

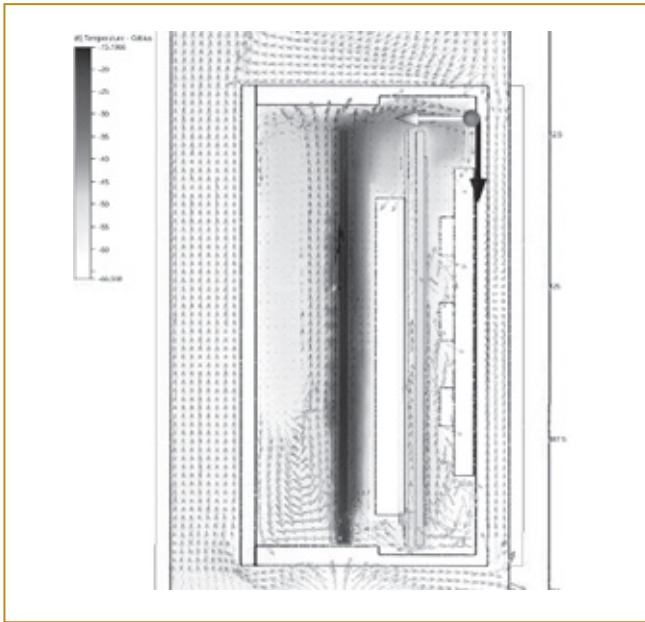


Рис. 1. Распределение температурного поля

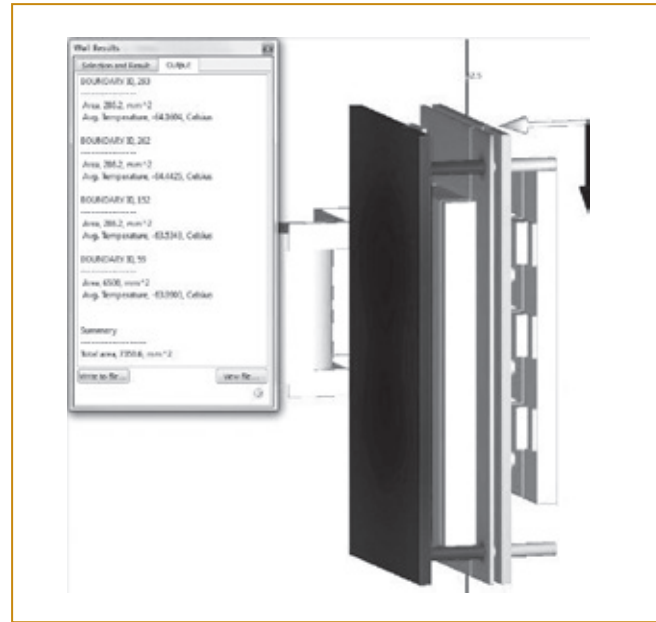


Рис. 2. Распределение температуры по деталям блока управления

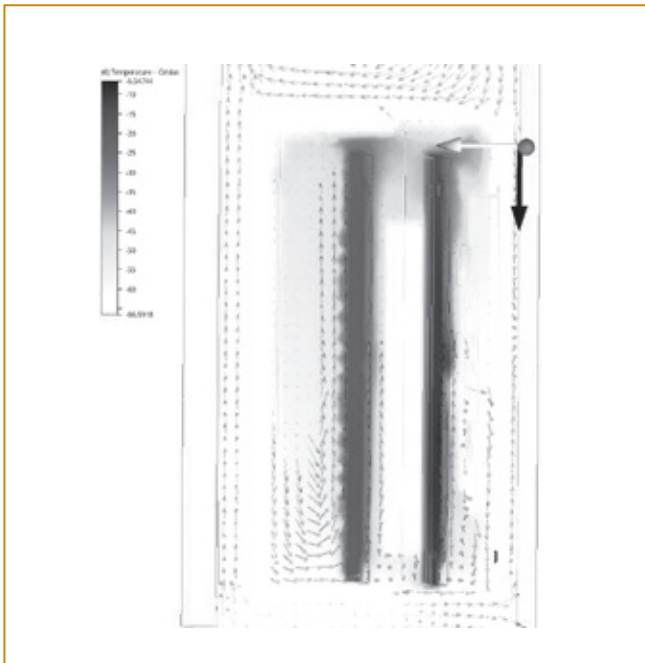


Рис. 3. Распределение температурного поля



Рис. 4. Распределение температуры по деталям блока управления

(что особенно характерно для печатных плат систем управления) [10].

Целью моделирования является подбор мощности и места размещения нагревательного элемента для равномерного прогрева мест установки датчиков и электроаппаратуры.

Задачи:

- 1) обеспечение «выхода на режим» за минимальное время при минимальной мощности ТЭН;
- 2) обеспечение равномерного прогрева – минимизация температурной деформации корпусов, мест крепления.

*Исходные данные для расчета.*

1. Материалы микросхем – кремний, конструктивных элементов – алюминий, среда – воздух. Свойства материалов – температурозависимые.
  2. Генераторы теплоты (максимальные значения): блоки питания (20 и 10 Вт), блок электроэлементов (43 Вт), транзистор (2 Вт), блок резисторов (76 Вт), сборка диодная (28 Вт).
  3. Температура внешней среды  $-65^{\circ}\text{C}$
- Допущения модели: не учитывается радиационный теплообмен внутри блока и с внешней средой; отсутствие ветрового воздействия.

Расчет проводился в программном комплексе Autodesk Simulation [11, 12].

Распределение температурных полей и векторов потока воздуха снаружи и внутри блока управления представлены на рис. 1.

На рис. 2 представлена доступная информация для каждой детали по результатам расчета: среднее значение температуры (показано на рисунке), ее максимальная или минимальная величина.

Из результатов моделирования следует, что максимальная температура на компонентах достигает  $-15^{\circ}\text{C}$ , а для ряда компонентов составляет  $-63^{\circ}\text{C}$ . На основе анализа тепловых потоков был сделан вывод, что расположение нагревательных элементов в нижней части блока управления формирует «тепловой карман», тем самым обеспечивает «запирание» воздушных масс с более высокой температурой.

В процессе доработки размещения нагревательных элементов, вариантного перебора их формы, мощности и режима включения, удалось обеспечить конвективный тепловой поток, «омывающий» все компоненты блока управления (рис. 3) и повысить максимальную температуру на чувствительных элементах (рис. 4), при этом снизив потребляемую мощность и уменьшив до 100 с время прогрева.

Граничным условием проведенной оптимизации был разрешенный к применению конструктивный ряд нагревательных элементов. Варьируемыми параметрами в процессе оптимизации являлись местоположение, мощность и порядок включения ТЭН.

В качестве результата принимался вариант с наименьшим временем, диапазоном температур по блоку и минимальной суммарной мощностью ТЭН.

#### Заключение

В результате расчета теплового режима блока управления, при температуре окружающей среды  $-40^{\circ}\text{C}$  и  $-60^{\circ}\text{C}$  были проанализированы места и мощность нагревательных элементов, порядок их включения, обеспечивающих быстрый старт ( $< 100$  с), и штатное функционирование блока при низких и сверхнизких температурах окружающей среды.

Подобрано оптимальное расположение нагревательных элементов внутри блока — по центру воздушного зазора между платами. Подобное решение формирует устойчивый конвективный поток с достаточно высокой скоростью, что обеспечивает максимально быстрый старт и равномерность тепловых изоповерхностей.

Получены конструктивные решения сборки электроэлементов и термопанелей, обеспечивающие минимальное время и равномерное распро-

странение прогрева аппаратуры систем управления приводами мобильной техники в арктических условиях эксплуатации.

#### Список литературы

1. Указ Президента РФ №164 от 05.03.2020. Об Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года.
2. Барсуков С. И. Термодинамика и теплопередача: учеб. пособие. 3-изд., доп. / С. И. Барсуков, Л. В. Кнауб — О.: Астропринт, 2003. — 608с.
3. ОСТ ВЗ-1470-82. Система жидкостного охлаждения дизелей. Метод расчета.
4. Ротач В. Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. / В. Я. Ротач — М., "Энергия". 1973. 440с
5. Слесаренко А. П. Математическое моделирование тепловых процессов: в телах сложной формы при нестационарных, граничных условиях / А. П. Слесаренко // Проблемы машиностроения. 2002. — N 4. — С. 72-80.
6. Цой П. В. Совместное, применение преобразования Лапласа и проекционных методов к решению нестационарных задач теплопроводности; / П. В. Цой, В. П. Цой. // Проблемы машиностроения. 2002. — N 2. — С. 50-61.
7. Modulating Fan Drive Systems, SAUER-SUNDSTRAND GMBH & CO, BLN- 10177, March 1999:
8. Test of Automatic Temperature Controlled Hydrostatic Fan Drive. General electric co pittsfield mass ordnance systems, Money, R. P.; Rio, R. L. Jun 72-Jul 75.
9. Пузанов А. В. Моделирование работоспособности насосного оборудования в арктических условиях эксплуатации / А. В. Пузанов, О. О. Сукоркина, Е. А. Ершов // Автоматизация. Современные технологии. 2020, т. 74, №3 — С. 108-111.
10. Пузанов А. В. Мультидисциплинарный анализ систем управления мобильной техники / А. В. Пузанов // Автоматизация. Современные технологии. 2016, №10 — С. 13-17.
11. Пузанов А. В. Обзорный анализ программных комплексов моделирования динамики / А. В. Пузанов // Конструктор. Машиностроитель. 2017. №3. — С. 41-45.
12. Пузанов А. В. Опыт использования современного мультифизического ПО в разработке электрогидроприводов / А. В. Пузанов // САПР и Графика. - 2008. № 4. С. 75-79.
13. Пузанов А. В. Использование Autodesk Simulation Multiphysics для исследования полей температур, напряжений и деформаций в конструкции шестеренного насоса / А. В. Пузанов // Системный анализ и прикладная информатика — 2016. №2 — С 31-36.
14. Пузанов А. В. Моделирование работоспособности насосного оборудования в арктических условиях эксплуатации / А. В. Пузанов, О. О. Сукоркина, Е. А. Ершов // Автоматизация. Современные технологии. 2020, т. 74, №3 — С. 108-111.

**Пузанов Андрей Викторович** — канд. техн. наук, доцент кафедры приборостроения, ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия имени В. А. Дегтярева»  
 Контактный телефон (49232) 6-96-00 доб. 225.  
 E-mail: [puzanov@dksta.ru](mailto:puzanov@dksta.ru)