

ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**А.В. Пузанов (ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева»)**

Для использования мобильной техники в тропическом и субтропическом направлениях требуется обеспечивать защиты от перегрева систем управления приводами. В работе приведены результаты моделирования температурного состояния блока управления приводами. Результаты образуют n-мерное облако данных для функционирования системы управления термостабилизацией объекта.

Ключевые слова: приводная техника, система охлаждения, термостабилизация, моделирование тепловых режимов.

Режим функционирования мобильной техники в тропических условиях эксплуатации характеризуется высокой температурой окружающей среды ($> 45^\circ\text{C}$). Допустимая температура эксплуатации электронных компонентов составляет 70°C для гражданской и 85°C для техники специального назначения (ГОСТ 15150).

Требования к удельной мощности мобильной техники, их силовым установкам постоянно растут, что обуславливает повышение эффективности этой техники. Увеличение удельной мощности является важнейшей тенденцией при создании современных транспортных средств.

Повышение мощности при снижении габаритов характеризуют сложные условия компоновки и уменьшение внутреннего пространства для размещения компонентов.

С ростом мощности двигателей транспортных средств для обеспечения их оптимального теплового режима ужесточаются требования к системам охлаждения до комфортных условий эксплуатации всех систем. Данное требование особенно актуально для машин, которые предназначены для работы в тяжелых условиях расширенного температурного диапазона окружающей среды $-50...50^\circ\text{C}$.

Обозначенные факторы определяют сложность и актуальность научно-технической задачи стабилизации температурных режимов работы электронных компонентов систем управления силовых электрогидроприводов.

К условиям усложнения этой задачи относятся еще и ограничения режимов работы активных систем охлаждения (вентиляторов) по причине резкого снижения их надежности (особенно при эксплуатации в пустыне, при наличии пыли и взвесей, высокой влажности и т.п.).

В подобных условиях обычно применяются пассивные конструктивные методы для обеспечения отвода тепловых потоков: элементы Пельтье, трубки Пито или радиатор, совмещенный с централизованной системой охлаждения и т.п.

Учитывая, что динамика теплового состояния системы обладает большой инертностью, а повышение температуры происходит гораздо быстрее охлаждения, процесс термостабилизации системы является нетривиальной научно-технической задачей [1].

Целью работы является улучшение условий функционирования блока управления приводами

транспортного средства за счет сбора данных о его термическом состоянии при различных условиях — температурных и нагрузочных, с последующим использованием этих данных для предсказательного поведения системы управления термостатированием.

В рамках этой работы решалась задача размещения элементов с высокой тепловой генерацией, их дистанцирование и изоляция, обеспечивающие равномерный отток тепловой энергии от элементов плат систем управления, комфортные условия их работы.

Вопросы повышения эффективности систем охлаждения транспортных средств рассмотрены в работах отечественных ученых Архипова Г. В., Гогайзель В.А., Гусенцовой Е.С., Вахламова В. К., Шатрова М. Г., Юрчевского А. А., В.Н., Гуськова С.А., Коваленко А. А., Баранич Ю. В., Крутова В. И., Платонова В. Ф., Леиашвили Г.Р. и др., зарубежных авторов Sockel Tom, William F., Moncy R. P. и др. Основы расчета и конструирования систем управления охлаждением разработаны в работах Прокофьева, В.К. Свешникова и др. Вопросы теории и практики динамики и надежности приводной техники, в том числе с учетом температурного воздействия, основываются на работах Чемоданова Б. К., Солодовникова В. В., Куропаткина П. В. и др.

В тоже время специфические особенности местных режимов работы, динамических характеристик и структурных связей силовых частей приводов и систем их управления, системы охлаждения и режимов нагружения силового агрегата транспортного средства определяют необходимость проведения дальнейших исследований.

Схемно-конструктивное решение заключается в формировании внутреннего теплового потока, обеспечивающего равномерное распределение температуры, исключающее термодеструкцию плат управления, расположение и конфигурация радиаторов, расположение групп электроэлементов, их изоляция или соединение — варьируемые параметры в пределах габаритов, доступных для размещения блока.

Для установившегося режима справедливо уравнение [2]:

$$Q_{n0} - Q_{p0} = 0, \quad (1)$$

где, Q_{n0} — количество теплоты, поступившее в систему охлаждения из вне в единицу времени (в начальный момент времени); Q_{p0} — отдача

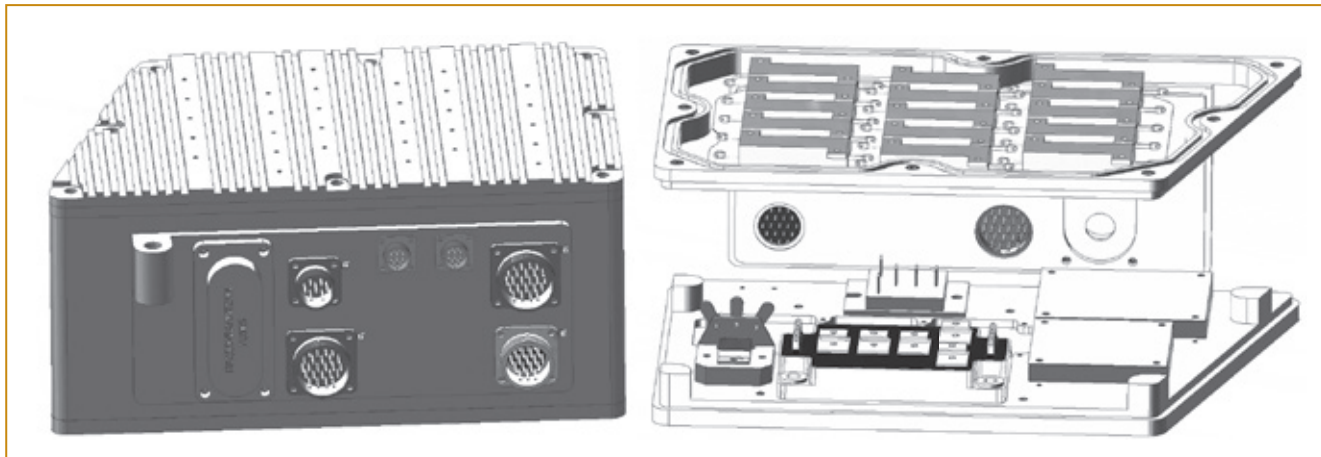


Рис. 1. Внешний вид блока управления (справа вид блока управления без крышки радиатора и кожуха корпуса)

теплоты (расход через радиатор) окружающей среде в ту же единицу времени (в начальный момент времени).

Нарушение теплового баланса (1) в системе терморегуляции блока приводит к изменению температуры теплоносителя T в соответствии с дифференциальным уравнением

$$C \frac{dT}{dt} = Q_n - Q_p, \quad (2)$$

где C – теплоемкость системы терморегуляции блока. Q_{n0} – количество теплоты, поступившее в систему охлаждения из вне в единицу времени; Q_{p0} – отдача теплоты (расход через радиатор) окружающей среде в ту же единицу времени.

Так как при неравномерном режиме [3] $T = T_0 + \Delta T$; $Q_n = Q_{n0} + \Delta Q_n$; $Q_p = Q_{p0} + \Delta Q_p$, то с учетом условия (1) уравнение (2) принимает вид

$$C \frac{d\Delta T}{dt} = \Delta Q_n - \Delta Q_p, \quad (3)$$

После разложения полученной функциональной зависимости в ряд Тейлора, последующей линеаризации с учетом допущения, что скорость изменения температуры окружающего воздуха значительно меньше, чем скорость изменения температуры внутреннего теплоносителя, упрощения, и перехода к операторной форме, получим дифференциальное уравнение электрокомпонентов, как объекта регулирования по температуре теплоносителя [4]:

$$(T_\theta p + \kappa_\theta) \varphi = \Theta_\theta \alpha_\theta - \beta, \quad (4)$$

где T_θ – постоянная времени системы терморегуляции; κ_θ – коэффициент самовыравнивания системы терморегуляции; Θ_θ – коэффициент усиления по нагрузке; α_θ – входная координата, определяющая режим электрокомпонентов; β – входная координата, определяющая объем воздуха через радиаторы; φ – выходная координата, температура теплоносителя;

собственный оператор определяется выражением $d_\theta(p) = T_\theta p + \kappa_\theta$.

Операторная запись дифференциального уравнения дает возможность получить передаточные функции элемента, характеризующие воздействия на него той или иной входной координаты, для чего все члены уравнения следует поделить на собственный оператор. В этом случае уравнение (4) запишется в виде:

$$\varphi = W^a(p) - W^\beta(p), \quad (5)$$

где: $W^a(p) = \frac{\Theta_\theta \alpha_\theta}{T_\theta \cdot p + \kappa_\theta}$ – передаточная функция по режиму работы электрокомпонента;
 $W^\beta(p) = \frac{\beta}{T_\theta \cdot p + \kappa_\theta}$ – передаточная функция по объему воздуха через радиаторы.

Математическая модель обратной связи по температуре теплоносителя в обобщенном виде представляется функцией от температуры теплоносителя [5]:

$$U_{oc} = f(T), \quad (6)$$

где T – температура теплоносителя.

Тепловой баланс блока управления приводами реализуется посредством системы управления термостабилизацией. Для функционирования этой системы необходимы данные о различных состояниях объектов (электроэлементов, корпусных деталей, монтажных плат и т.д.) при изменениях режимов работы и внешних условий [6, 7].

Для наполнения данными зависимостей температуры конструктивных элементов от условий работы и внешних воздействий разработана 3D модель блока управления (рис. 1).

Исходные данные для расчета.

1. Материал конструктивных элементов - алюминий.
2. Генерация теплоты (максимальные значения): элемент питания силовых ключей (150 Вт), элемент питания системы управления (10 Вт), блок

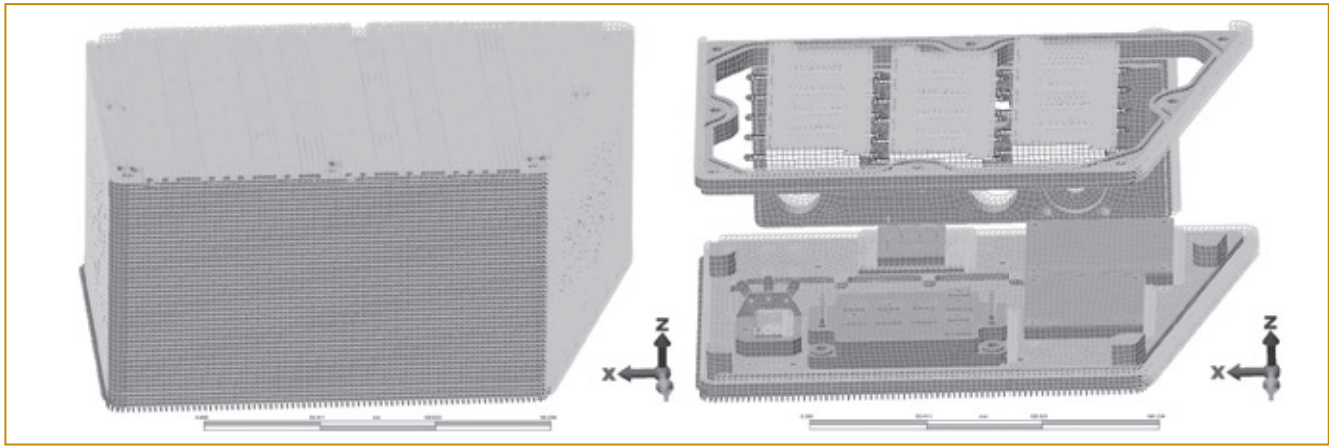


Рис. 2. Расчетная модель привода в Autodesk Simulation с приложенными нагрузками

электроэлементов (транзисторный модуль) (43 Вт), компонент силовых ключей (76 Вт), сборка диодная (28 Вт). В процессе моделирования изменялись размещения элементов при различных алгоритмах включения генераторов теплоты и систем охлаждения.

3. Связь компонентов сборки между собой – контакт по поверхности.

4. Основание корпуса связано с объемом большой теплоемкости с температурой 50° С.

5. Внешние поверхности привода охлаждаются естественной конвекцией воздухом с температурой 50° С.

Допущения модели:

- отсутствие учета радиационного теплообмена внутри блока и с внешней средой;
- отсутствие ветрового воздействия.

Влияние внутренних и внешних тепловых потоков могут быть определены посредством CFD-анализа [1, 8].

Расчет проводился в программном комплексе Autodesk Simulation Multiphysics.

Расчетная модель с приложенными нагрузками представлена на рис. 2.

В результате проведения расчета порядка 25 вариантов конструктивной компоновки при различных алгоритмах включения температуро-генерирующих элементов был выбран вариант с наилучшим распреде-

лением температуры (при наименьшем градиенте) по конструкции блока управления.

Картина распределения температурных полей по конструкции блока управления приводами представлена на рис. 3 (снаружи и внутри).

Одним из критериев выбора компоновки было минимально значение температурной деформации (рис. 4) – из-за возможного образования зазоров между генератором тепла и радиатором и, как следствие, нарушения теплового потока и роста локальной температуры.

Для выбранного размещения конструктивных компонентов генерации и отведения тепловой энергии был проведен ряд модельных исследований для обеспечения данными системы управления термостабилизацией. Полученные данные образуют n -мерное облако данных. Здесь порядок n – число изменяемых параметров системы (сочетания режимов работы силовых элементов и систем управления, как штатных, так и аварийных).

Для обеспечения работы системы управления термостабилизацией используются методы и алгоритмы предикативного управления [9, 10].

Графическая интерпретация изменения режима работы системы при переопределении ее исходных параметров представлена на примере трехмерных зависимостей на рис. 5.

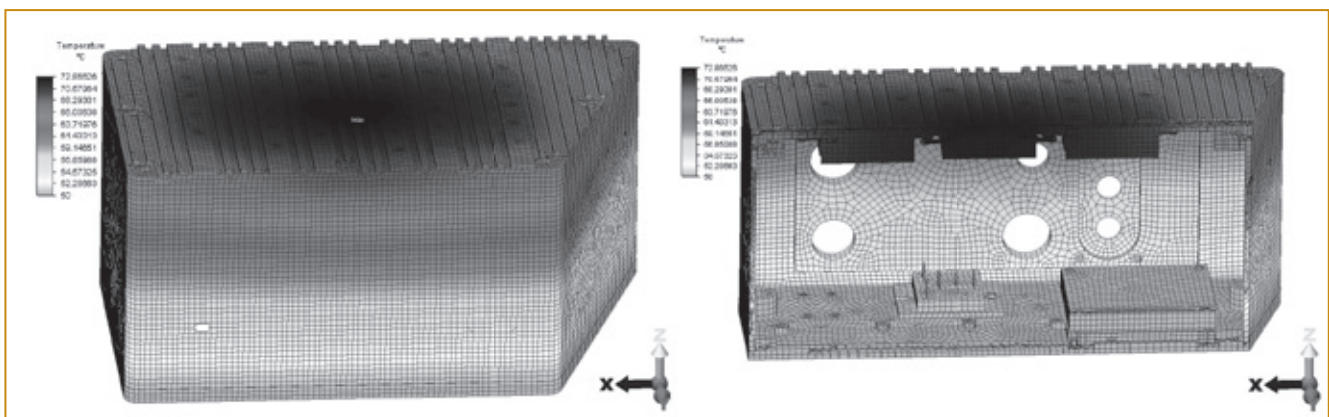


Рис. 3. Распределение температурных полей по конструкции привода (сечение в плоскости XZ).

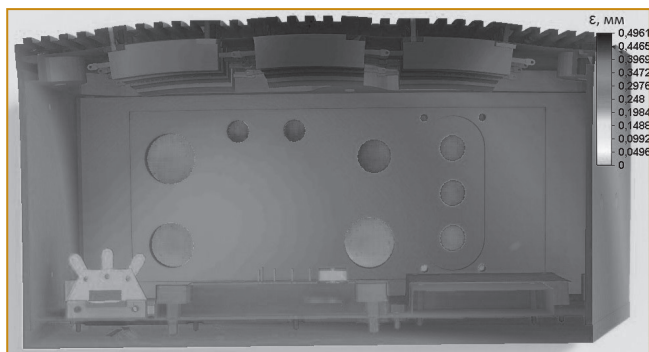


Рис. 4. Температурная деформация конструкции блока

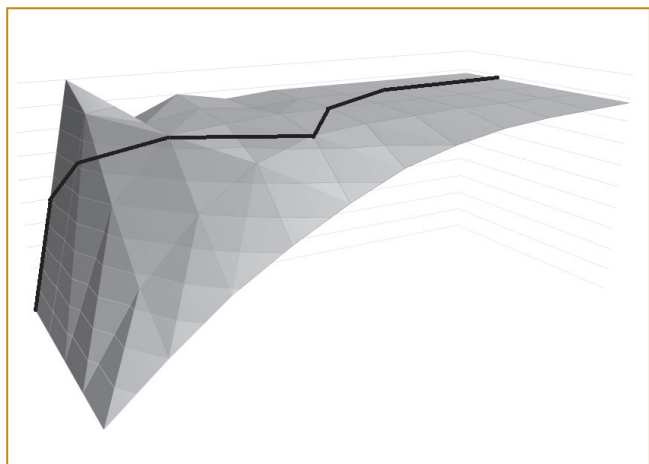


Рис. 5. Пример результирующей функции термостабилизации в 3D интерпретации

На рис. 6 функция представлена в привычном виде результирующего графика поведения системы. На графике видны результаты максимизации скорости и ограничений по параметрам предельного значения.

Заключение

Наличие данных о температурном состоянии блока управления позволяет реализовать элементы предикативного управления термостабилизацией.

Результаты расчета используются системой управления охлаждением для обеспечения равномерности теплового режима работы, поддерживающего температуры блока управления в оптимальном диапазоне при различных режимах и условиях работы силовой установки, не допуская критических значений.

В процессе выполнения данной работы получено n -мерное облако данных для функционирования системы управления термостабилизацией объекта, позволяющей обеспечить необходимый тепловой режим силовой установки транспортного средства в широком диапазоне температур окружающей среды и загрузки двигателя.

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

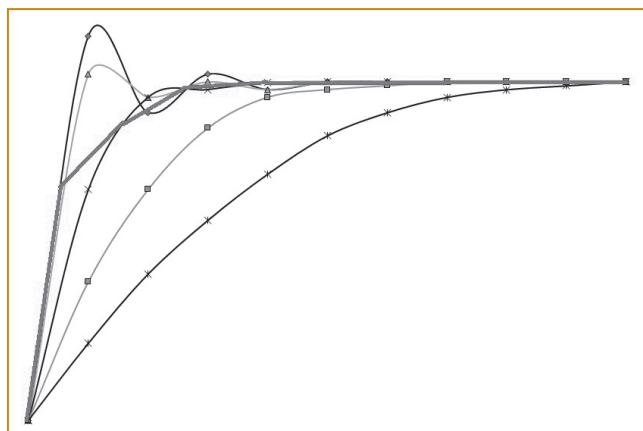


Рис. 6. Пример результирующей функции термостабилизации в 2D интерпретации

В результате расчета теплового режима блока управления приводом, при температуре окружающей среды 50°C , максимальный перегрев конструкции составляет 23°C и достигает 73°C .

Список литературы

1. Пузанов А.В. Мультидисциплинарный анализ систем управления мобильной техники / А.В. Пузанов // Автоматизация. Современные технологии. 2016, №10 – С. 13-17.
2. Алексеев Г. Н. Общая теплотехника: Учебное пособие / Г.Н. Алексеев - М.: Высшая школа, 1980. – 552с.
3. Архипов Г. В. Автоматическое регулирование поверхностных теплообменников / Г.В. Архипов. – М., Энергия, 1971. – 304 с.
4. Барсуков С. И. Термодинамика и теплопередача: учеб. пособие. 3.изд., доп. / С.И. Барсуков, Л.В. Кнауб – О.: Астропринт, 2003. – 608с.
5. Цой П.В. Совместное, применение преобразования Лапласа и проекционных методов к решению нестационарных задач теплопроводности / П.В. Цой, В.П. Цой. // Проблемы машиностроения. 2002. – №2. –С. 50-61.
6. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. / В.Я. Ротач, –М.: Энергия. 1973. –440с
7. Modulating Fan Drive Systems, SAUER-SUNDSTRAND GMBH & CO, BLN- 10177, March 1999;
8. Даршт Я.А. FLOW-3D в проектировании машиностроительной гидравлики / Я.А. Даршт, К.Е. Куванов, А.В. Пузанов, И.Н. Холкин // САПР и Графика. - 2000. № 8. - С. 50-55.
9. Поляков В.С. Представление алгоритма в матрично-предикатном виде / В.С. Поляков, С.В. Поляков // European Research. 2016. № 2 (13). С. 29-35.
10. Ильяшенко М.Б. Решение задачи поиска изоморфизма графов для проектирования специализированных вычислителей / М.Б. Ильяшенко, А.А. Голдобин // Радиоэлектроника, информатика, управление. 2012. № 1 (26). С. 31-36.