

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ И СМАЗКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН СО СРЕДСТВАМИ ПРЕДУСКОВОГО ПОДОГРЕВА

*Малозёмов А.А., Грабец М.П., Козьминых Д.В.*

*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск*

**Ключевые слова:** дизель, дизельный двигатель, транспортные машины, пуск двигателя, математическая модель, система охлаждения, система смазки, схема предпускового подогрева.

**Аннотация.** В статье представлена математическая модель процессов предпускового подогрева, а также результаты расчета динамики разогрева двигателя. Эти результаты сравниваются с экспериментальными данными для оценки точности математической модели. Модель основана на методе энергетического и массового баланса. Она позволяет моделировать процессы прогрева двигателя на разных этапах предпусковой подготовки и пуска, а также рассчитывать системы предпускового подогрева, использующие энергию отработавших газов для нагрева масла и охлаждающей жидкости.

## SIMULATION OF PROCESSES IN COOLING AND LUBRICATION SYSTEMS OF DIESEL ENGINES OF TRANSPORT VEHICLES WITH PREHEATING FACILITIES

*Malozemov A.A., Grabets M.P., Kozminykh D.V.*

*South Ural State University (national research university), Chelyabinsk*

**Keywords:** diesel, diesel engine, transport vehicles, engine start, mathematical model, cooling system, lubrication system, preheating scheme.

**Abstract.** The article presents a mathematical model of preheating processes, as well as the results of calculating the dynamics of engine warm-up. These results are compared with experimental data to evaluate the accuracy of the mathematical model. The model is based on the method of energy and mass balance. It allows to simulate engine warm-up processes at different stages of preheating and start, as well as to calculate preheating systems that use the energy of exhaust gases to heat oil and coolant.

Для защиты своих интересов в Арктике Россия наращивает экономическое присутствие в регионе, в том числе в рамках программ «Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ на период до 2020 года» и «Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу». Одним из ключевых моментов этой стратегии является разработка новых видов транспорта, способных работать в суровых условиях Арктики, включая экстремально низкие температуры. Важнейшей задачей в этой области является создание систем, гарантирующих запуск двигателей при любых погодных условиях. Без этого эксплуатация техники в Арктике в принципе невозможна. Эффективность проектирования и модернизации силовых установок напрямую зависит от точности и полноты расчетов.

Современные методы расчета воплощены в виде специализированного программного обеспечения, которое помогает инженерам быстро и качественно создавать модели, вводить исходные данные, а также визуализировать и

анализировать результаты расчетов [1]. В связи с этим важнейшим требованием к математическим моделям пуска дизельных двигателей транспортных машин является их реализация в виде программного обеспечения, которая открывает широкие возможности для совершенствования процессов, повышения эффективности работы двигателей и снижения эксплуатационных расходов.

В системах охлаждения, смазки и предпускового подогрева процессы происходят в соответствии с законами гидродинамики, термодинамики и газодинамики [2]. При моделировании этих систем используются два основных типа элементов гидравлических схем (аналогичных газодинамическим): «объем» и «сопротивление». Однако, в отличие от газов, жидкости считаются несжимаемыми, основными характеристиками потока жидкости является ее расход и давление. Температура – единственная переменная состояния, так как теплоемкость и компонентный состав жидкости считаются постоянными. Математические модели этих систем включают описание различных граничных условий, а также базовых и комплексных элементов. Эти элементы могут соединяться между собой и обмениваться параметрами, связям элементов соответствуют системы балансовых уравнений расхода и давления.

Разработанная математическая модель [3] позволяет комплексно описать и проанализировать работу систем охлаждения, смазки и предпускового подогрева, учитывая все ключевые физические процессы.

Уравнение энергетического баланса для объема имеет вид:

$$\sum_1^p \left( \frac{dG_p}{dt} \cdot c \right) + \sum_1^i \left( \frac{dQ_{ini}}{dt} \right) + \sum_1^j \left( \frac{dQ_{out j}}{dt} \right) + \frac{dU}{dt} = 0, \quad (1)$$

где  $dG$  – массовый расход жидкости через соединение;  $p$  – номер соединения;  $c$  – теплоёмкость жидкости;  $\frac{dQ_{ini}}{dt}$  – поток энергии через внутренний источник;

$i$  – номер внутреннего источника;  $\frac{dQ_{out j}}{dt}$  – поток энергии через внешний

источник;  $j$  – номер внешнего источника;  $\frac{dU}{dt}$  – изменение внутренней энергии жидкости.

Массовый баланс:

$$\sum_1^p \left( \frac{dG_p}{dt} \right) = 0. \quad (2)$$

Температура жидкости:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{dU}{dt} \cdot \frac{1}{c \cdot G}, \quad (3)$$

где  $T$  – температура жидкости;  $G$  – масса жидкости.

Расход жидкости через сопротивление:

$$\frac{dG}{dt} = v \cdot A \cdot C_D, \quad (4)$$

где  $v$  – скорость течения жидкости через сопротивление;  $A$  – площадь поперечного сечения;  $C_D$  – коэффициент потока.

Скорость течения жидкости через сопротивление:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho}}, \quad (5)$$

где  $P_1$  – давление жидкости перед сопротивлением;  $P_2$  – давление жидкости после сопротивления;  $\rho$  – плотность жидкости.

Система уравнений (1)-(5) совместно с уравнениями термодинамики, позволяет моделировать динамику прогрева двигателя при предпусковой подготовке и пуске. На основе базовых классов созданы математические модели теплообменников, которые учитывают процессы в охладителе наддувочного воздуха в режиме матричного подогрева, разогрев масла в картере двигателя охлаждающей жидкостью, а также нагрев отработавшими газами предпускового жидкостного подогревателя или пускового двигателя охлаждающей жидкости и масла.

Предпусковой жидкостный подогреватель представляет собой систему, которая включает «объёмы» газа (камеру горения) и жидкости, и уравнения, описывающие процессы передачи тепла между элементами системы и окружающей средой. Поскольку характеристики предпускового жидкостного подогревателя известны (тепловая мощность, расход топлива, расход воздуха, максимальная температура газов на выпуске) можно упростить математическое описание процессов. Действительная тепловая мощность предпускового жидкостного подогревателя определяется из уравнения:

$$\frac{dQ_{in}}{dt} = N_{heat} = N_{heat}^r \cdot \frac{G_T}{G_T^r}, \quad (6)$$

где  $N_{heat}^r$  – номинальная тепловая мощность предпускового жидкостного подогревателя;  $G_T$  – действительный расход топлива;  $G_T^r$  – номинальный расход топлива.

Энергия, передаваемая жидкости от газа через стенки камеры сгорания:

$$\frac{dQ_{out}}{dt} = (G_T \cdot H_u - N_{heat}) \cdot \eta_{heat}, \quad (7)$$

где  $\eta_{heat}$  – КПД предпускового жидкостного подогревателя, учитывающий теплопотери в окружающую среду.

КПД можно рассчитать, решая систему уравнений баланса массы и энергии для номинального режима работы. Важным преимуществом модели является возможность определять поток энтальпии отработавших газов и интегрироваться с системой выпуска отработавших газов, что позволяет моделировать системы предпусковой подготовки, в которых используется энергия отработавших газов для подогрева охлаждающей жидкости и масла. Движение охлаждающей жидкости моделируется насосом, чьи характеристики (расход и напор) также известны.

На рисунке 1 показана расчётная схема предпускового подогрева двигателей типа 12ЧН15/18 (с подогревателем ПЖД-600).

На рисунке 2 показаны результаты расчёта динамики разогрева в сравнении с данными, полученными в ходе нескольких экспериментов [4].

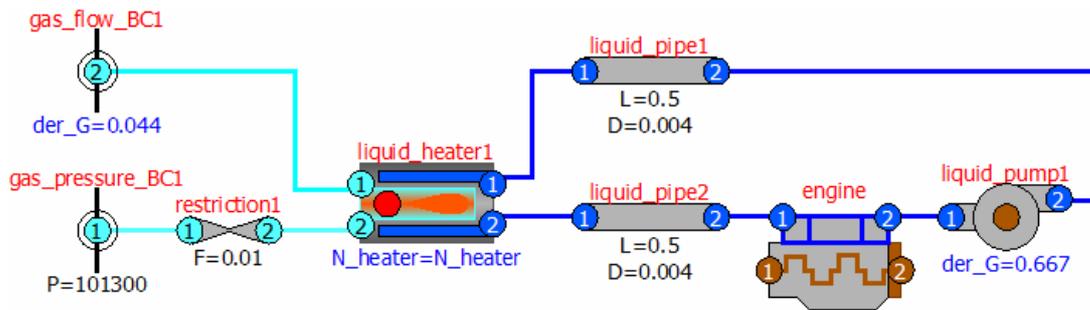


Рис. 1. Расчетная схема предпускового подогрева

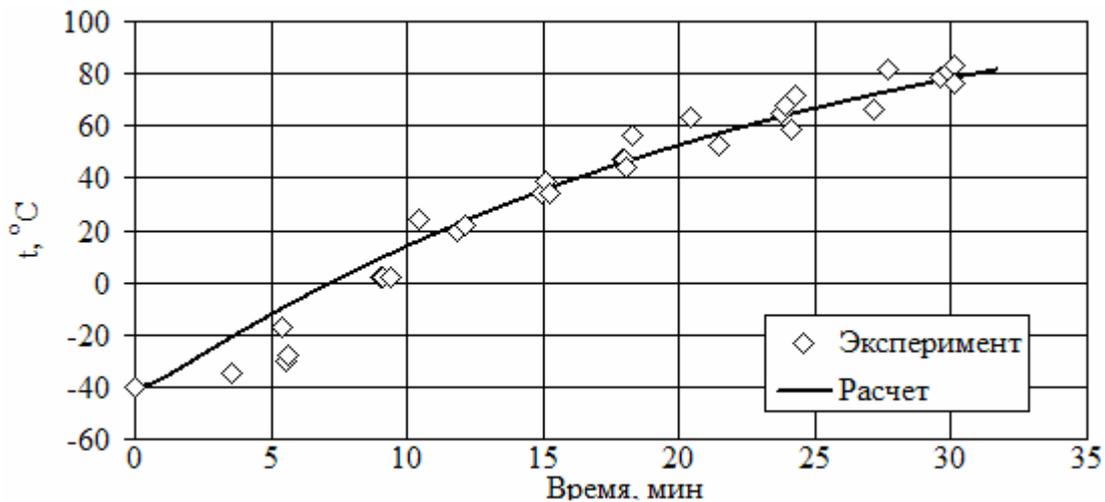


Рис. 2. Расчетные и экспериментальные характеристики предпускового разогрева дизеля 12ЧН15/18 подогревателем ПЖД-600

График, представленный на рисунке 2, подтверждает достоверность разработанной математической модели. Таким образом, разработанная математическая модель может быть использована для моделирования процессов в системах охлаждения и смазки дизельных двигателей транспортных машин со средствами предпускового подогрева.

### Список литературы

1. Еникеев Р.Д., Черноусов А.А. Проектирование и реализация пакета программ для анализа и синтеза сложных технических объектов // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16, №5(50). – С. 60-68.
2. Бондарь В.Н. Математическая модель рабочего процесса дизельного двигателя на режимах пуска // Вестник СИБАДИ. – 2016. – Вып. 1(47). – С. 81-87.
3. Бондарь В.Н., Малозёмов А.А., Кукис В.С. Математическая модель и программное обеспечение для имитационного моделирования дизеля на режимах предпусковой подготовки и пуска // Научоград – 2017. – №2. – С. 54-62.
4. Бондарь В.Н., Лавров М.Н., Романов Д.В. Результаты экспериментальной оценки влияния различных методов предпусковой подготовки тракторного дизеля на его пусковые качества // Будущие исследования – Т. 29. Технологии: Материалы за IX международна научна практична конференция. – София: «БялГРАД-БГ» ООД, 2013. – С. 44-49.

### Сведения об авторах:

Малозёмов Андрей Адиевич – д.т.н., доцент, главный научный сотрудник;

Грабец Максим Петрович – научный сотрудник;

Козьминых Дмитрий Владимирович – научный сотрудник.