

21.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР  
Харьковский автомобильно-дорожный институт

*На правах рукописи*

БРАЙЛЬЧУК Павел Л.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ВЫСОКОГОРНЫХ УСЛОВИЙ НА  
ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТОРМОЗНОГО  
ПРИВОДА**

(Специальность 05.441 — автомобильный транспорт)

*АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание  
ученой степени  
кандидата технических наук*

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

Харьковский автомобильно-дорожный институт

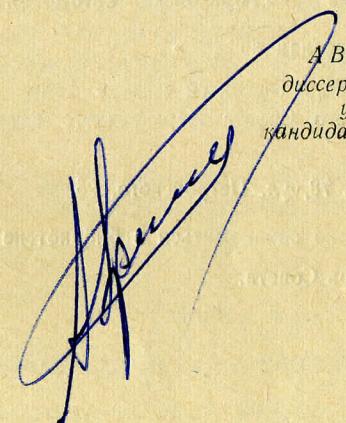
*На правах рукописи*

БРАЙЛЬЧУК Павел Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОГОРНЫХ УСЛОВИЙ  
НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТОРМОЗНОГО ПРИВОДА

(Специальность 05.441—автомобильный транспорт)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание  
ученой степени  
кандидата технических наук



ХАРЬКОВ — 1971

Работа выполнена на кафедрах «Автомобильный транспорт» Таджикского политехнического института и «Автомобили» Харьковского автомобильно-дорожного института.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор Гредескул А. Б.

Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор Островцев А. Н., кандидат технических наук, доцент Гиршберг Н. М.

Ведущее предприятие — Горьковский автомобильный завод.

Автореферат разослан « » 1971 г.

Защита диссертации состоится « » 1971 г.  
на заседании Ученого Совета Харьковского автомобильно-дорожного института.

Адрес: Харьков, 78, ул. Петровского, 25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета.

## ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация автомобилей на высокогорных дорогах имеет ряд специфических особенностей, влияющих на режим работы их узлов и агрегатов и, в особенности, деталей тормозной системы. При торможении на крутых затяжных спусках с большим числом поворотов малых радиусов происходит интенсивный нагрев тормозных механизмов, что не только снижает эффективность тормозной системы, но зачастую приводит к полным ее отказам. Разреженность воздуха снижает температуру кипения тормозной жидкости в гидравлических приводах, что способствует образованию газовых «мешков», которые приводят к отказам приводов.

Эксплуатационные испытания автомобилей ГАЗ-53А в высокогорных условиях показали, что из 66% отказов в работе тормозной системы, 60% падает на отказы гидравлического привода.

В настоящей работе исследуется надежность гидравлического тормозного привода в наиболее тяжелых высокогорных условиях эксплуатации.

## Глава I

### СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При рассмотрении истории вопроса надежности тормозных систем отмечен большой вклад, внесенный в теорию торможения трудами отечественных ученых: Е. А. Чудакова, Н. А. Бухарина, Ю. Б. Беленьского, А. Б. Гредескула, Б. Б. Генбома, В. Г. Розанова, Б. С. Фалькевича и других. Работы этих ученых положены в основу расчетов движения автомобиля при торможении, выбора конструктивных схем и элементов системы, расчетов на прочность и износостойкость деталей тормозной системы.

Основные положения теории надежности автомобилей изложены в трудах Р. В. Кугеля, Р. В. Ротенберга, А. Н. Островцева, А. М. Шейнина, Е. С. Кузнецова. Вопросы нагруженности и надежности тормозных систем рассматриваются в исследованиях Г. В. Максапетяна, В. М. Голубенко, Л. К. Кизмана, И. В. Ежова и других.

Оценка надежности, принятая в настоящей работе, построена на основных принципах теории надежности, предложенной профессором Островцевым А. Н.

Инженерная задача теории надежности заключается в том, чтобы установить закономерные связи между критериями и измерителями эксплуатационной надежности автомобиля, предназначенными для их нормирования и оценки, с факторами от которых эти измерители зависят.

К этим факторам относятся: потенциальные свойства автомобиля, формируемые его конструктивными параметрами и выходными характеристиками и внешняя среда, которая в сочетании с нагрузкой и режимом движения определяет эксплуатационные условия.

Чтобы выявить влияние внешней среды на измеритель надежности необходимо оценить это влияние по степени воздействия на конструкцию автомобиля.

Определение этой взаимосвязи должно послужить основой для выработки критериев и измерителей горных дорожных условий при оценке их влияния на надежность конструкции и разработки соответствующей классификации эксплуатационных дорожных условий.

Цель настоящей работы — исследовать как влияют геометрические параметры высокогорных дорог в сочетании с особыми атмосферными условиями (температура, разреженность воздуха) на формирование рабочих режимов и на изменение свойств внутренней среды в тормозной системе автомобиля с гидравлическим приводом.

В соответствии с этим поставлены следующие задачи:

1. Исследовать режимы работы и нагруженность тормозной системы автомобиля с гидровакуумным приводом в высокогорных условиях.

2. Исследовать процесс аккумулирования и переноса тепла в тормозном механизме при длительном торможении.

3. Изучить рабочие процессы, протекающие в системе гидравлического привода тормозов при высоких температурах и пониженной плотности воздуха.

4. Исследовать надежность гидравлического тормозного привода в дорожных высокогорных условиях.

5. Разработать рекомендации по повышению надежности гидравлического привода тормозных систем автомобилей, эксплуатирующихся в высокогорных условиях.

## Глава II

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ И НАГРУЖЕННОСТИ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ С ГИДРОВАКУУМНЫМ ПРИВОДОМ В ВЫСОКОГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

В этой главе дается обоснование выбора автомобильной дороги для проведения исследований; излагается методика исследования режима работы и нагруженности тормозной системы; описывается применявшаяся при этом аппаратура и приводятся результаты исследований.

На основе анализа сети автомобильных дорог Советского Союза для проведения исследований выбраны автомобильные дороги Памира, на которых формируются предельные условия с точки зрения нагруженности тормозной системы.

Для записи основных параметров автомобильных дорог была разработана и изготовлена с участием автора специальная аппаратура. С ее помощью наблюдались визуально и записывались осциллографом пройденный путь, высота над уровнем моря, уклон, угол поворота, радиус закругления, температура окружающего воздуха и ряд других параметров.

Энергонагруженность тормозной системы в основном зависит от режима торможения на спуске с перевалов, которые характеризуются сложностью участка: средним уклоном, длиной и извилистостью.

В качестве измерителя извилистости дороги принят коэффициент извилистости  $I$ .

$$I = \frac{\sum l_{kp}}{R_{pr} L} \text{ рад.}, \quad (1)$$

где  $\sum l_{kp}$  — сумма длины всех кривых на данном участке, км;  
 $R_{pr}$  — приведенный радиус кривых, м;  
 $L$  — общая длина участка, км.

По принятым в качестве измерителей сложности участков указанным выше показателям для исследования нагруженности тормозов были выбраны наиболее сложные перевалы, характеристика которых представлена в таблице 1.

Таблица 1

Наименование перевала	Высота над уровнем моря, м:		Средний уклон $i$ , %	Коэффициент извилистости $I$ , рад.
	в начале перевала	на вершине перевала		
Чигир-Чик . . . . .	1600	2400	6,4	7,0
Талдык . . . . .	2450	3587	8,5	6,0
Ак-Байтал . . . . .	4000	4680	6,0	7,5

В соответствии с поставленной задачей исследования на-  
груженности и определения количества тепла, аккумулирую-  
щегося в тормозных механизмах, методикой предусматрива-  
лась запись следующих параметров:

- числа торможений на единицу пути и времени;
- пути, проходимого автомобилем при включенном рабо-  
чем тормозе;
- пути, проходимого автомобилем при использовании  
двигателя в режиме тормоза на разных передачах в коробке  
передач;
- давления, развиваемого в рабочих тормозных цилин-  
драх в период торможения;

— температур, возникающих кратковременно и действую-  
щих продолжительно в граничных зонах трения, тормозной  
жидкости и в отдельных деталях тормозного механизма.

Для записи этих параметров была собрана блочная схе-  
ма приборов, размещавшихся в специально изготовленном  
контейнере, монтировавшемся в кузове автомобиля ГАЗ-53А.  
Запись давлений в рабочих тормозных цилиндрах производи-  
лась осциллографом Н-700 с помощью датчиков давлений  
типа П-100 и величин температур в зонах трения с помощью  
хромель-копелевых термопар. Температура тормозной жидкости  
в рабочих тормозных цилиндрах замерялась прибором  
ПЗТ-ЗИЛ с помощью термометров сопротивлений.

Для записи общего режима движения автомобиля, числа  
включений тормоза, пути движения автомобиля на разных пе-  
редачах, использовалось два режимомера, разработанных и  
изготовленных автором. Один из них записывал общий режим  
движения автомобиля на ленту миллиметровой бумаги; другой —  
только режим торможения на позитивную фотопленку.

Спуск с перевалов осуществлялся с предельной скоростью,  
обеспечивающей безопасность движения. В качестве критерия  
для сравнительной оценки принималась средняя скорость  
прохождения определенных участков дороги автомобилем —  
лабораторией и потоком автомобилей, работающих на данной  
трассе. Методами математической статистики определялось  
потребное количество заездов, обеспечивающих необходимую  
достоверность информации.

Анализом полученной информации установлено:

1. Скорость движения автомобиля на спусках с перевалов  
ограничивается в основном условиями безопасности движе-  
ния и составляет  $\approx 35$  км/час;

2. Тормозная система автомобиля значительно перегру-  
жается. Рабочие давления в системе относительно невысокие  
(максимум 35 кг/см<sup>2</sup>), однако суммарная длительность их  
действия составляет 5—10 мин. при длине спуска 1600—  
3500 м. За этот промежуток времени тормоза поглощают зна-

чительную энергию при интенсивном тепловыделении. Тем-  
пература в граничной зоне трения достигает 350—400° С.

3. Информация по фактическим рабочим давлениям в си-  
стеме позволила установить моменты отказа гидропривода  
(провалы педали тормоза) и дать им количественную оценку  
по времени. Отсутствие давления в рабочих тормозных ци-  
линдрах длится 8—10 сек. (время, необходимое для сокраще-  
ния объема воздушных мешков периодическими нажатиями  
на тормозную педаль).

Данные по температурам граничной зоны трения не дают  
полного представления о тепловом состоянии элементов рабо-  
чего тормоза. В результате теплопередачи аккумулирующегося  
в тормозном механизме тепла происходит нагревание тор-  
мозных цилиндров и находящейся в них тормозной жидкости.  
Однако нагрев последних отстает по времени. Чтобы опреде-  
лить режим нагружения тормозов при котором наступают  
предельные условия по надежности гидропривода и увязать  
его с геометрическими параметрами дороги, формирующими  
этот режим, возникла необходимость исследования темпера-  
турного поля всего тормозного механизма при различных ус-  
ловиях торможения.

### Глава III

#### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ И ПЕРЕНОСА ТЕПЛА В ТОРМОЗНОМ МЕХАНИЗМЕ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ТОРМОЖЕНИИ

В главе анализируются работы ряда авторов, которые  
предлагают различные методы теплового расчета тормозов.  
Основное внимание в них уделяется тепловому состоянию  
тормозного барабана и в незначительной мере рассматрива-  
ются вопросы аккумулирования тепла в тормозных колодках.  
Вместе с тем тепловой поток, направленный от тормозных ко-  
лодок приводит к нагреву деталей, размещенных во внутрен-  
нем пространстве барабана, которые не имеют необходимых  
условий теплоотвода. При длительных торможениях это мо-  
жет привести к перегреву тормозной жидкости и возвратных  
пружин и, в конечном счете, к отказу тормоза.

Учитывая изложенное, в данной главе ставится задача  
разработки достаточно простого способа приближенного ре-  
шения краевой задачи нестационарной теплопроводности вну-  
три фрикционной накладки и колодки.

Проводится экспериментальное исследование изменения  
температуры в граничной зоне трения тормозного барабана  
и колодки; выявляется закон изменения температуры в этой  
зоне при длительном торможении и дается ему математиче-  
ское описание; проводится теоретическое исследование акку-

мулирования тепла в тормозной накладке и колодке при различных режимах торможения; дается количественная оценка температурному состоянию тормозной жидкости при различной нагруженности тормозной системы.

Результаты исследований нагруженности тормозов в дорожных условиях позволили составить методику проведения экспериментов в стендовых условиях и сформулировать требования к конструкции стенда. В работе приводятся общий вид, принципиальная схема и дается описание изготовленного автором стенда.

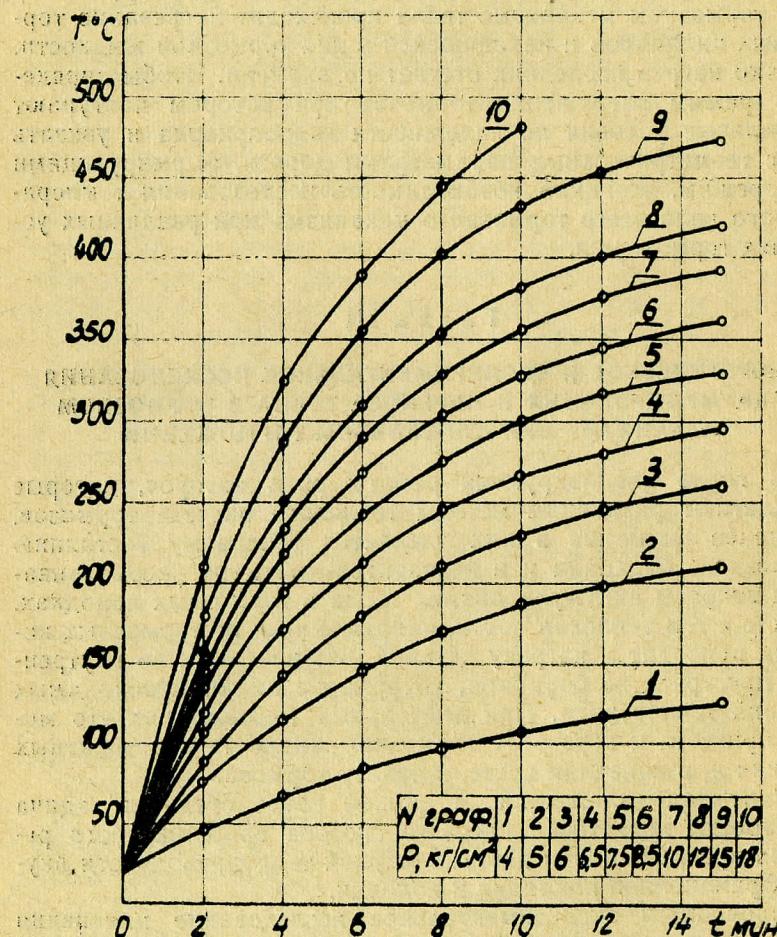


Рис. 1. Изменение температуры в граничной зоне трения в зависимости от времени торможения при разных давлениях в рабочем тормозном цилиндре.

Запись температуры в исследовавшихся точках производилась электронным потенциометром ЭПП-09, ЭДС к которому подавалась хромель-копелевыми термопарами. В тормозных накладках последние задевались у поверхности трения, в середине и на границе с наружной поверхностью колодки.

По результатам эксперимента построены графики (рис. 1) изменения температуры в граничной зоне трения для разных давлений в магистрали. Величины давлений и продолжительность времени торможения выбирались в соответствии с данными дорожных испытаний. Серий опытов на стенде установлено:

1. Температура в граничной зоне трения при торможении с постоянной интенсивностью, при прочих равных условиях, через 8—12 мин. стабилизируется и в дальнейшем изменяется незначительно.

2. Независимо от величины давления в рабочем тормозном цилиндре и времени торможения, изменение температуры подчиняется экспоненциальному закону:

$$[T(X,t)]_{x=-R} = T_0 + \Delta T [1 - \exp(-mt)]. \quad (2)$$

где  $(-R \leq x \leq R)$ ;  
 $T_0 + \Delta T$  — установившаяся температура на поверхности трения;  
 $m$  — темп стабилизации температуры, определяющийся экспериментально;  
 $t$  — время торможения;  
 $1 = 2R$  — толщина накладки;  
 $x = -R$  — поверхность трения (Рис. 2).

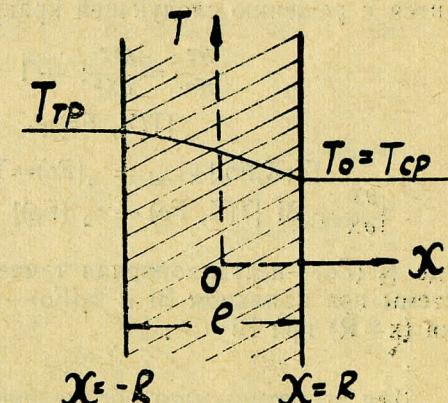


Рис. 2.

Результаты исследования теплового процесса в граничной зоне трения позволили сформулировать математическую модель краевой задачи нестационарной теплопроводности в тормозной накладке при известной температуре в граничной зоне трения и разработать методику теоретического определения количества тепла, аккумулирующегося в тормозных колодках при различных режимах торможения.

Математическая модель краевой задачи теплопроводности внутри фрикционной накладки и колодки решается способом,

предложенным П. В. Цоем, в котором совместно применяются интегральное преобразование Лапласа и вариационный метод Бубнова-Галеркина.

Задача решается при следующих допущениях: тормозная накладка считается плоской пластиной; температура накладки и колодки в начальный момент равна  $T_0$  и соответствует температуре воздуха внутри системы [ $T_0 \leq 80^\circ\text{C}$ ]; распределение температуры по толщине накладки считается равномерным (стальная колодка достаточно тонкая и имеет высокий коэффициент теплопроводности).

Вводятся безразмерные переменные и критерии теплового подобия

$$X = \frac{x}{R}; \quad Fo = \frac{at}{R^2}; \quad Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}; \quad Pd = \frac{mR^2}{a}$$

где  $Fo$  — критерий Фурье, в котором  $a$  — коэффициент температуропроводности;  $Bi$  — критерий Био, в котором  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности;  $Pd$  — критерий Предводителева.

Тогда поле температуры  $T(X, Fo)$  внутри накладки при смешанных граничных условиях первого и третьего рода сводится к решению следующей краевой задачи:

$$\frac{\partial T}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T}{\partial X^2}; \quad -1 \ll X \ll 1. \quad (3)$$

$$[T(X, Fo)]_{Fo=0} = T_0 \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} [T(X, Fo)]_{x=-1} &= \varphi_2(Fo) = T_0 + \Delta T(1 - e^{-Pd Fo}); \\ \frac{\partial T}{\partial X} + Bi [T(X, Fo) - \varphi_2(Fo)] &= 0 \end{aligned} \right\}_{x=1} = 0 \quad (5)$$

где  $\varphi_2(Fo)$  — нестационарная температура воздуха внутри системы при конечном  $Bi$  и  $\varphi_2(Fo)$  — температура стенки накладки ( $x=R$ ) при  $Bi=\infty$ .

Для теоретического определения температуры в накладке при смешанных граничных условиях первого и третьего рода (5) необходимо знать изменение во времени температуры воздуха внутри тормозной системы. При этом в решение войдет еще один параметр — приведенный критерий  $Bi$ , для определения которого необходимы дополнительные эксперименты. С другой стороны, знание температуры на обеих поверхностях накладки позволяет решить задачу при несимметричных граничных условиях первого рода и найти температуры без введения критерия  $Bi$ .

В диссертации приводится решение во втором приближении для температуры внутри фрикционной накладки и колодки, когда:

$\varphi_2(Fo) = T_0 + \Delta T_1 [1 - \exp(-Pd_1(Fo - F_{ot}))] H(Fo - F_{ot})$ ;  
где  $T_0 + \Delta T_1$  — максимальная температура в зоне контакта накладки и колодки;

$H(Fo - F_{ot})$  — единичная функция Хевисайда  
 $(H(Fo - F_{ot}) = 0 \text{ при } Fo < F_{ot}, H(Fo - F_{ot}) = 1 \text{ при } Fo > F_{ot})$ ;

$F_{ot} = \frac{a\tau}{R^2}$  время (фаза) запаздывания температуры нетрущейся поверхности накладки.

Расход тепла на нагрев тормозной накладки рассчитывается по формуле:

$$Q_h(Fo) = \Theta(Fo, Pd, Pd_1, F_{ot}, \omega) C_h G_h \Delta T \quad (6)$$

$$Q_k(Fo) = Q(1, Fo, Pd, Pd_1, F_{ot}, \omega) C_k G_k \Delta T \quad (7)$$

где  $C_h, C_k$  — коэффициенты теплоемкости накладки и колодки;  $G_h, G_k$  — вес накладки и колодки;

$\Theta_h = \Theta(Fo, Pd, Pd_1, F_{ot}, \omega); \quad \Theta_k(1, Fo, Pd, Pd_1, F_{ot}, \omega)$  — среднеинтегральная температура накладки и колодки. Величины  $Q_h, Q_k$  получены путем интегрирования относительной избыточной температуры  $\Theta = \frac{T - T_0}{\Delta T}$ .

Результаты теоретического расчета  $\Theta$  и сравнение с экспериментальными данными приводятся на рис. 3.

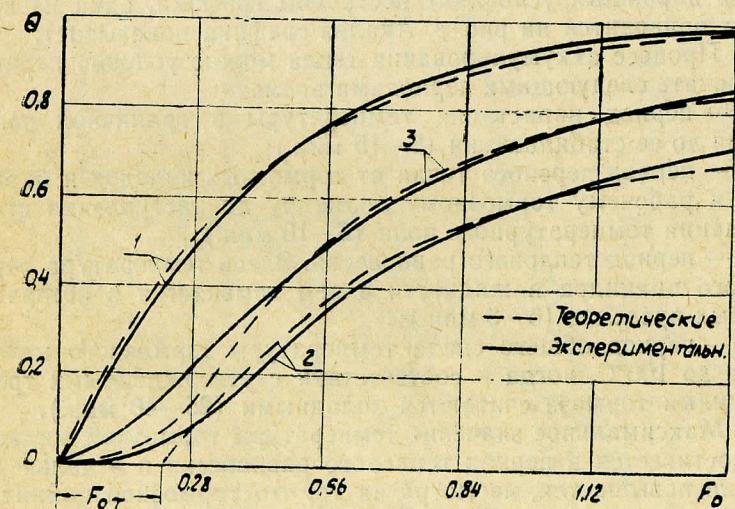


Рис. 3. Изменение относительной температуры от числа Фурье:  
1 — поверхность трения, 2 — противоположная поверхность,  
3 — середина накладки.

Указанный метод решения краевой задачи нестационарной теплопроводности находит достаточно точные решения, эффективные для инженерных расчетов. Численная реализация вариационных методов по пространственным координатам позволяет решения граничных задач в области изображений по Лапласу свести к решениям систем алгебраических уравнений. Это дает возможность эффективного использования современной вычислительной техники. Для упрощенных задач анализ приближенных решений, полученных на ЭЦВМ Минск-22, дал хорошую сходимость с известными точными решениями.

По итогам теоретического и экспериментального исследования можно констатировать:

1. После прекращения торможения тепло, аккумулированное в барабане, в основном отдается окружающей среде. Сам барабан при этом выполняет роль изолирующей поверхности, преграждающей передачу в окружающую среду тепла, накапленного в колодках и последнее переносится на детали тормоза, расположенные внутри барабана.

2. Вариационный метод решения краевой задачи нестационарного теплопереноса позволил получить зависимости по которым представляется возможным не только определить количество тепла, аккумулирующегося в тормозных колодках, но и увязать его с режимом торможения.

По результатам записи многих режимов торможения на стенде (соответствовавших, как и прежде, режимам, полученным в дорожных условиях) построены графики, один из которых приводится на рис. 4. Анализ графика показывает:

1. Процесс аккумулирования тепла можно условно характеризовать следующими периодами времени:

$t_1$  — период нарастания температуры в граничной зоне трения до ее стабилизации (8—15 мин.);

$t_2$  — период переноса тепла от тормозных колодок и барабана к рабочему тормозному цилиндру до наступления стабилизации температурного поля (8—16 мин.);

$t_3$  — период теплового равновесия. Здесь температура тормозного цилиндра и жидкости в нем изменяется в незначительных пределах (6—8 мин.);

$t_4$  — период общего спада температуры тормозного механизма до 100°C, когда в соответствии с утвержденными требованиями тормоза считаются холодными (25—40 мин.).

3. Максимальное значение температуры тормозной жидкости достигается в период теплового равновесия и в дальнейшем не повышается, несмотря на то, что тормозной цилиндр продолжает поглощать тепло от колодок и нагретого воздуха, заключенного во внутреннем пространстве тормозного барабана. Здесь можно ожидать, что энергия тепла, поступающего к цилинду, расходуется на испарение жидкости в нем.

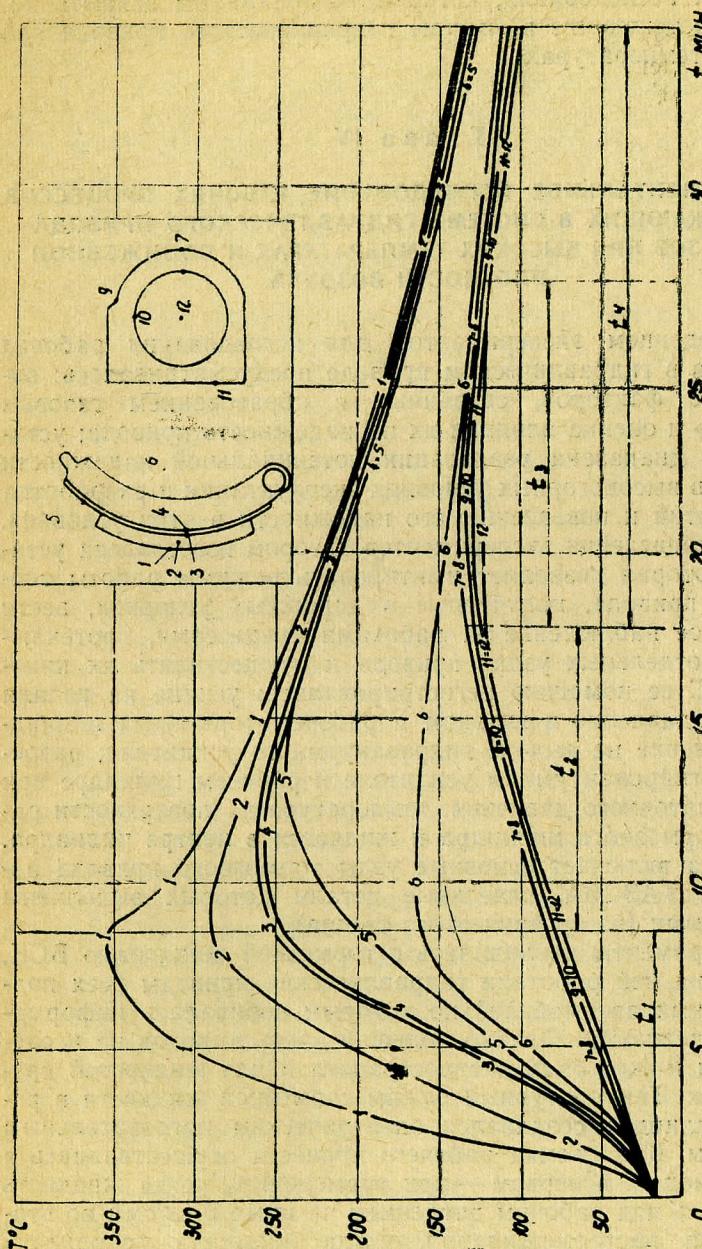


Рис. 4. Изменение температуры в различных деталях тормозного механизма в зависимости от времени при длительном торможении.

Это обстоятельство вызывает необходимость проведения специальных исследований, которые позволили бы вскрыть явления, протекающие в системе гидравлического привода при высоких температурах.

## Глава IV

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В СИСТЕМЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА ТОРМОЗОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТИ ВОЗДУХА

Проведением экспериментов для исследования рабочих процессов в гидравлическом приводе предусматривалось: определение факторов, связанных с образованием газовых «мешков» и оценка влияния их на надежность привода; установление диапазона реализации потенциальной надежности привода в высокогорных условиях эксплуатации и разработка мероприятий к повышению его надежности в этих условиях.

Для проведения экспериментов автором изготовлена установка, которая позволяет имитировать режимы работы тормозного привода, полученные в дорожных условиях, вести визуальное наблюдение за рабочими процессами, протекающими в отдельных узлах привода и осуществлять их киносъемку. С ее помощью регистрировались: усилие на педали тормоза; давление в главном и рабочем тормозных цилиндрах; давление на выходе гидровакуумного усилителя; разжение в гидровакуумном усилителе и рабочем цилиндре при спаде остаточного давления; температура на поверхности рабочего тормозного цилиндра и жидкости в центре цилиндра. Установка включает основные узлы тормозного привода автомобиля ГАЗ-53А, отдельные детали которых выполнены прозрачными (из органического стекла).

Эксперименты проводились с тормозной жидкостью БСК, так как на ней работали гидравлические приводы всех подконтрольных автомобилей по которым собиралась информация о надежности. Однако большая часть выводов по исследованиям может быть распространена и для жидкостей других марок. Температурный режим тормозной жидкости в рабочем цилиндре создавался электрическим нагревательным элементом. Киносъемка рабочего процесса осуществлялась в трех периодах: в первом — при торможении, когда жидкость находилась под рабочим давлением не ниже 6 кг/см<sup>2</sup>; во втором — при растормаживании, когда жидкость находилась под остаточным давлением в пределах норм, заданных заводом-изготовителем и в третьем — когда осуществлялось кратковременное импульсное нажатие на педаль тормоза. Од-

новременно регистрировались величины давлений и разрежений в зависимости от изменения температуры.

Визуальным наблюдением и изучением кинокадров установлено:

1. При давлениях в рабочем тормозном цилиндре, соответствующих эксплуатационным режимам торможения, жидкость может нагреваться до 140° С без заметных внутренних изменений.

2. Нагрев выше 140° С сопровождается заметным помутнением жидкости с выпадением осадка в виде хлопьев, что по-видимому, свидетельствует о начале ее структурного распада.

3. В момент растормаживания системы, при остаточных давлениях в рабочем тормозном цилиндре в пределах норм, установленных заводом (0,8—1,2 кг/см<sup>2</sup>), начиная с температуры 115° С и выше, происходит вскипание жидкости с образованием газового мешка. При определенных условиях объем газового мешка в течение одной минуты достигает ≈ 50% объема рабочего тормозного цилиндра.

4. Вследствие увеличения объема газового мешка происходит выпуск жидкости через обратный клапан в главный тормозной цилиндр. Выпуск прекращается при определенном, установленном в рабочем цилиндре давлении.

5. Объем газового мешка сохраняется до тех пор, пока температура жидкости не упадет ниже точки ее кипения, соответствующей данным условиям. Дальнейший спад температуры приводит к уменьшению объема газового мешка и заполнению этого объема жидкостью из системы.

6. При создании кратковременных давлений в рабочем тормозном цилиндре (импульсное нажатие на педаль тормоза), объем газового мешка значительно уменьшается, но полностью не устраняется.

7. При медленном остывании жидкости в рабочем цилиндре падает остаточное давление, вплоть до давления разрежения, что приводит к разгерметизации системы.

Изучение кадров киносъемки и материалов визуального наблюдения дало возможность выявить активные физические факторы и конструктивные параметры, влияющие на выходные характеристики привода, и установить связь между ними.

Для установления диапазона реализации потенциальной надежности привода получены следующие выходные характеристики:

а) по началу кипения жидкости в зависимости от остаточных давлений (рис. 5а);

б) по началу кипения жидкости в зависимости от высоты над уровнем моря (рис. 5б);

в) по остаточным давлениям в зависимости от времени после растормаживания (рис. 5в);

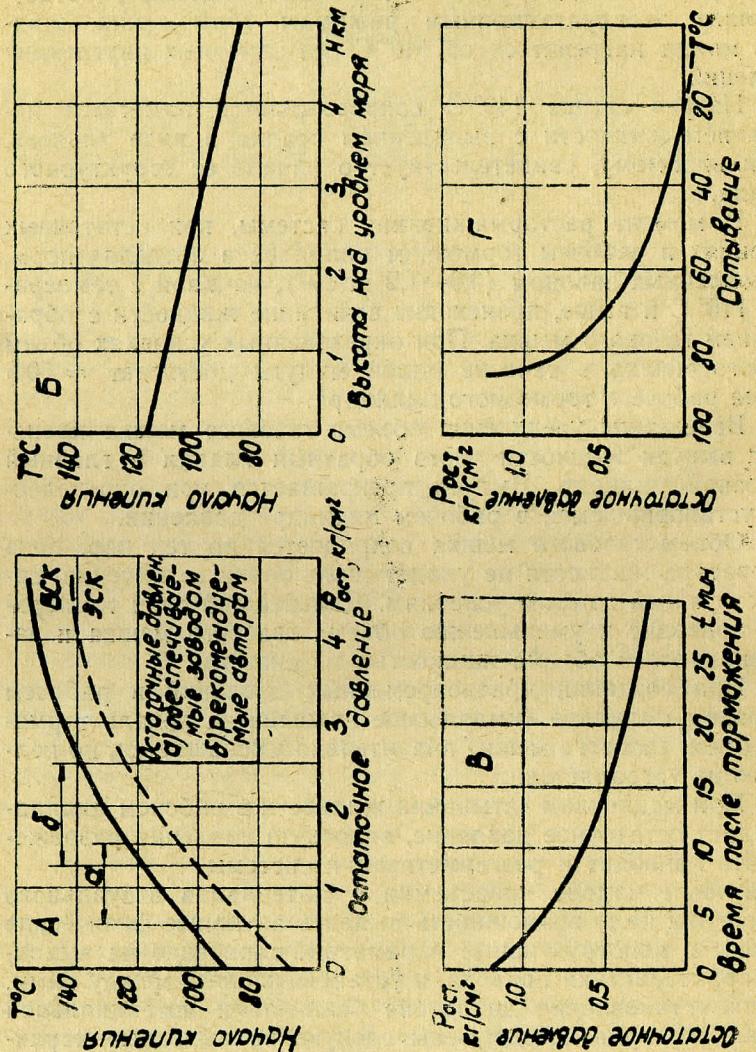


Рис. 5. Выходные характеристики тормозного привода

т) по остаточным давлениям в зависимости от изменения температуры после растормаживания (рис. 5г).

Результаты экспериментального исследования позволили вскрыть причины снижения надежности привода при высоких температурах и пониженной плотности воздуха, дать им количественную и качественную оценку, а также разработать некоторые рекомендации по их устранению.

## Глава V

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТОРМОЗНОГО ПРИВОДА В ДОРОЖНЫХ ВЫСОКОГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Исследование имело целью:

1. Проверить выводы теоретических и стендовых исследований относительно тепловой нагруженности тормозного привода.

2. Дать количественную оценку влиянию газовых мешков, образующихся в рабочих тормозных цилиндрах на время срабатывания привода и остановочный путь автомобиля.

3. Проверить возможность расширения диапазона надежной работы привода применением оптимальных режимов торможения.

Объектом исследования служил автомобиль ГАЗ-53А, подготовленный к испытаниям в соответствии с требованиями ГОСТа-6871-14 и оборудованный контейнером, приборы которого записывали: скорость движения автомобиля; усилие на педали тормоза; температуру в граничной зоне трения, в разных точках деталей тормозного механизма и тормозной жидкости в рабочем цилиндре; путь и время срабатывания тормозного привода до полной остановки автомобиля.

Испытания проводились в три этапа.

В первом этапе исследовалось температурное поле тормозного механизма при длительном торможении на спуске.

Во втором этапе исследовалось влияние газовых мешков в тормозных цилиндрах на время срабатывания привода и остановочный путь автомобиля на горизонтальном участке дороги с асфальто-бетонным покрытием.

В третьем этапе исследовалась возможность расширения надежной работы привода применением оптимальных режимов торможения и охлаждения тормозов.

Испытание проводилось на перевале Ак-Байтал (высота 4680 м н. у. м.). Автомобиль спускался с перевала в обычном эксплуатационном режиме. По завершении спуска на высоте 4000 м (здесь мог иметь место фактор высотности в случае разгерметизации системы) автомобиль останавливался и тор-

мозной механизм его охлаждался в течение  $\approx 12$  минут двумя способами: без нажатия на педаль тормоза и с периодическими импульсными нажатиями на педаль тормоза. Затем автомобиль разгонялся до скорости 50 км/час и производилось экстренное торможение его до полной остановки с последующим замером тормозного пути.

Результаты дорожных испытаний показывают:

а) что процесс аккумулирования и переноса тепла в тормозном механизме аналогичен полученному в стендовых условиях. Совпадение аналогичных кривых температур удовлетворительное;

б) что при горячих тормозах, когда в рабочих цилиндрах возникают условия образования газовых мешков, надежность тормозов снижается, а в отдельных отрезках времени может наступить полный их отказ;

в) что применяя оптимальные режимы торможения (с большими усилиями, но малой продолжительности) и охлаждения тормозов, можно понизить температуру тормозной жидкости, избежать полный отказ привода и, таким образом, расширить диапазон надежной работы его (по тормозному пути) в  $\sim 1,5$  раза.

## ВЫВОДЫ

1. Исследование режимов работы тормозной системы автомобилей, работающих в высокогорных условиях, позволило собрать необходимые сведения по нагруженности и температурным режимам тормозных механизмов при длительном торможении на спусках с перевалов. Информация по фактическим рабочим давлениям в системе позволила выявить причины отказов гидропривода, дать им количественную оценку по времени и пути торможения и установить их взаимосвязь с режимами торможения.

2. Исследованиями в лабораторных и дорожных условиях установлено, что температура в граничной зоне трения при длительном торможении через 8—12 мин стабилизируется и в дальнейшем изменяется незначительно. Изменение температуры по времени подчиняется экспоненциальному закону.

3. Создана стендовая установка, позволяющая исследовать температурное поле тормозного механизма при разных режимах торможения.

4. Для установления закономерности протекания температур в граничной зоне трения целесообразно повторно — кратковременный режим торможения, имеющий место в эксплуатационных условиях, заменить одним эквивалентным режимом торможения на стенде.

5. Составлена математическая модель краевой задачи нестационарной теплопроводности в тормозной накладке и ко-

лодке при известном характере протекания температуры в граничной зоне трения. Решение составленной задачи позволило получить зависимости для подсчета количества тепла, аккумулированного в тормозной накладке и колодке при разных режимах торможения.

6. Созданы предпосылки для оценки дорожных условий по нагруженности тормозной системы.

7. Экспериментально установлено, что перенос тепла к рабочим тормозным цилиндрам в основном осуществляется конвективным теплообменом.

8. Максимальное значение температуры тормозной жидкости достигается в период теплового равновесия и обуславливается величиной остаточного давления в рабочем тормозном цилиндре.

9. Тепловая нагруженность рабочего тормозного цилиндра зависит от двух параметров режима торможения: рабочего давления в нем и времени торможения. Наиболее неблагоприятным (формирующим более высокую тепловую нагруженность тормозного цилиндра) является режим с большой продолжительностью торможения.

10. Стендовые и лабораторно-дорожные испытания позволили дать оценку условиям, при которых наступают полные отказы привода.

11. При нагреве тормозной жидкости в рабочих тормозных цилиндрах и образовании газового мешка в них происходит выпуск жидкости из системы в главный тормозной цилиндр. В эксплуатации это приводит к большим потерям жидкости. Остыивание жидкости при исправном обратном клапане в главном тормозном цилиндре приводит к снижению остаточных давлений в рабочих цилиндрах вплоть до давлений разрежения. Это является причиной разгерметизации системы.

На основании проведенных исследований предлагаются следующие мероприятия, реализация которых позволит улучшить потенциальные возможности конструкции гидравлического привода тормозной системы автомобилей, эксплуатирующихся в высокогорных условиях:

а) обеспечить гарантированное остаточное давление в рабочих тормозных цилиндрах в пределах 2,0—2,1 кг/см<sup>2</sup> с целью поднятия точки кипения тормозной жидкости до 130—140° С. Это позволит существенно повысить эксплуатационную надежность тормозной системы;

б) улучшить конструкцию обратного клапана главного тормозного цилиндра увеличением числа и длины направляющих ребер;

в) снизить тепловую нагруженность рабочего тормозного цилиндра путем:

— применения тормоза-замедлителя;

- улучшения вентиляции внутренней полости барабана;
- тепловой изоляции рабочих цилиндров;
- г) для автомобилей, работающих в горных условиях, повысить требование к подбору тормозных жидкостей. Исключить применение жидкости БСК, приготовленной на изобутиловом спирте, температура кипения которой лежит в пределах 80—90° С;
- д) рекомендовать водителям, работающим в горных условиях, использовать наиболее благоприятный режим торможения с более высокими давлениями в системе, но меньшей продолжительностью их действия;
- е) при проведении технических обслуживаний тормозной системы с гидравлическим приводом ввести контрольную операцию по проверке остаточных давлений в рабочих тормозных цилиндрах.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Браильчук Павел Л. Исследование тормозных качеств автомобиля ЗИЛ-130 по программе международных требований. «Труды конференции по теории и расчету автомобилей, работающих в горных условиях». Тбилиси, 1968.

2. Браильчук Петр Л., Браильчук Павел Л. Тормозные качества автомобиля ЗИЛ-130 и безопасность его работы в горных условиях. Сборник «Вопросы криминалистики и судебной экспертизы». Душанбе, 1965.

3. Браильчук Павел Л. Некоторые результаты экспериментального исследования температурного поля рабочих тормозов автомобиля ГАЗ-53А. Труды конференции «Пути повышения надежности и экономической эффективности автомобилей, работающих в жарком климате и горных районах страны». Душанбе, 1970.

2. Цой П. В., Браильчук Петр Л., Браильчук Павел Л. Об одном методе теплового расчета в деталях тормозных механизмов в период длительного торможения. Труды конференции «Пути повышения надежности и экономической эффективности автомобилей, работающих в жарком климате и горных районах страны». Душанбе, 1971.

5. Браильчук Павел Л., Клименко Ю. И. Работа гидравликумного усилителя тормозного привода в условиях горных дорог. Научно-технический сборник «Автомобильный транспорт», вып. 8. Издат. «Техника», Киев, 1971.

6. Браильчук Павел Л., Браильчук Петр Л. Результаты исследования влияния высокогорных условий эксплуатации на надежность гидропривода тормозных систем автомобилей. Труды семинара «Состояние и перспективы улучшения тормозных систем автомобилей». НАМИ, Москва (находится в печати).

7. Браильчук Павел Л., Браильчук Петр Л. Прибор для автоматической записи режимов движения автомобиля в высокогорных условиях. Известия высших учебных заведений, том VII, «Приборостроение», 1962, № 3.

8. Браильчук Павел Л., Браильчук Петр Л., Миронов Е. А. Прибор для автоматической регистрации продольного профиля и уклонов автомобильной дороги. Удостоверение о регистрации № 48668 от 28/07-64 г.

Основные положения работы докладывались и обсуждались в отделе Главного конструктора Горьковского автомобильного завода и докладывались на:

1. Научной конференции по теории и расчету автомобилей, работающих в горных условиях. Тбилиси, 1966.

2. Всесоюзной конференции «Пути повышения надежности и экономической эффективности автомобилей, работающих в жарком климате и горных районах страны». Душанбе, 1968.

3. Научно-техническом семинаре «Состояние и перспективы улучшения тормозных систем автомобилей». Москва, НАМИ, 1969.

Техредактор А. Хамзин.

Сдано в набор 19/V-1971 г. Подписано в печать 19/V-1971 г. Печатных  
листов 1,25. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Тираж 150. КЛ 05439. Заказ № 1033.

Душанбе, Полиграфкомбинат Комитета по печати при Совете Министров  
Таджикской ССР.