

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ХАРЬКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

С. И. ЛОМАКА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ПРОТИВОБЛОКИРОВОЧНЫХ
УСТРОЙСТВ НА ПРОЦЕСС
ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ**

*Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

Научный руководитель —
доктор технических наук, доцент А. Б. ГРЕДЕСКУЛ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ХАРЬКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

С. И. ЛОМАКА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ПРОТИВОБЛОКИРОВОЧНЫХ
УСТРОЙСТВ НА ПРОЦЕСС
ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель —
доктор технических наук, доцент А. Б. ГРЕДЕСКУЛ

*Дорогому
Андрею Борисовичу
Гредескулу
от автора
21.04.66. С. Ломак*

Харьков — 1966

МВССО—УССР

ХАРЬКОВСКИЙ
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ИНСТИТУТ

«_____» 196____г.

№_____

г. Харьков, Петровского, 25.
тел. Г 0-41-81.

Харьковский автомобильно-дорожный институт направляет Вам для ознакомления автореферат диссертационной работы, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, защиты которой состоится «_____» 196____г.

Просим Вас и всех заинтересованных лиц Вашего учреждения принять участие в заседании Ученого совета, посвященном публичной защите этой диссертации, или прислать свои замечания.

Ученый секретарь
Совета

(В. К. РУДНЕВ)

Работа выполнена на кафедре автомобилей и двигателей Харьковского автомобильно-дорожного института.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость удовлетворения растущих потребностей нашей страны в автомобильных перевозках требует дальнейшего увеличения грузоподъемности и скорости выпускаемых автомобилей. С повышением скорости и общего веса автомобилей при непрерывно возрастающей интенсивности движения особую актуальность приобретает проблема обеспечения эффективного и безопасного торможения.

Одним из способов улучшения тормозных свойств автомобиля является применение противоблокировочных устройств. Такие устройства на автомобилях еще не получили широкого распространения. Многочисленные предложенные варианты конструкций таких устройств относительно сложны и еще не вышли из рамок опытно-конструкторских работ.

Создание простых, достаточно эффективных и надежных в работе автомобильных противоблокировочных устройств является задачей ближайшего будущего. Этому должно предшествовать всестороннее изучение особенностей работы этих устройств в составе автомобильных тормозных приводов, исследование влияния их на тормозные качества автомобиля.

Согласно литературным данным, непосредственные работы в этой области были начаты с экспериментальных исследований. Первоначально эксперименты проводились с использованием авиационных противоблокировочных устройств, затем были созданы и испытаны устройства чисто автомобильного типа.

Такие испытания были, в частности, проведены английской фирмой Dunlop и английским Дорожным исследовательским центром в 1957—58 г. г. Ими был испытан легковой автомобиль на различных сухих и мокрых дорожных поверхностях с твердым покрытием.

Большие исследовательские работы по изучению противоблокировочных устройств и их влияния на тормозные качества автомобиля ведутся у нас в стране лабораторией тормозов НАМИ. В НАМИ изготовлен для автомобиля электромеханический инерционный датчик блокирования колеса и проведено подробное исследование работы противоблокировочного устройства в составе пневматического тормозного привода.

Исследование процессов торможения с применением противоблокировочных устройств в гидравлическом приводе проводится в Московском автомеханическом институте и в Омском автомобильно-дорожном институте.

В Белорусском политехническом институте Ю. Б. Беленьким и Н. Ф. Метлюком разработана конструкция принципиально нового автомобильного противоблокировочного устройства и предложен метод определения ряда основных параметров инерционного датчика.

В работах А. Б. Гредескула показана общая картина явлений, происходящих при блокировании и разблокировании тормозного колеса. Это исследование может служить основой для разработки вопросов теории торможения автомобиля с противоблокировочными устройствами.

Выполненные экспериментальные работы по применению противоблокировочных устройств позволяют утверждать, что такие устройства влияют положительно на процесс торможения автомобиля. В определенных условиях они существенно повышают эффективность торможения, обеспечивают сохранение устойчивости и управляемости.

Вместе с тем, большинством авторов до настоящего времени уделялось больше внимания экспериментальному исследованию процесса торможения автомобиля с противоблокировочными устройствами и значительно меньше теоретическому. В настоящее время отсутствует метод теоретического анализа работы противоблокировочных устройств и тормозных качеств автомобиля, оборудованного подобного типа устройствами. Не изучен вопрос о влиянии таких устройств на боковую устойчивость автомобиля.

Многими авторами предложено большое количество различных схем противоблокировочных устройств, отличающихся принципом действия, конструкцией датчиков и исполнительных органов. Однако в литературе нет систематизации этих устройств, что затрудняет проведение анализа их работы и оценки применимости на автомобиле той или иной предлагаемой конструкции.

Вопросы торможения обычного автомобиля всесторонне исследованы в работах Е. А. Чудакова, Н. А. Бухарина, Я. М. Певзнера, Б. С. Фалькевича, А. Б. Гредескула, В. Г. Розанова и других отечественных и зарубежных ученых. В диссертации автора на основании общих теоретических положений рассматривается процесс торможения автомобиля с учетом особенностей, возникающих в связи с применением противоблокировочных устройств. Основные задачи исследования сводятся к следующему:

1) систематизировать и дать общий анализ принципов действия предложенных конструкций противоблокировочных устройств;

2) исследовать процесс торможения автомобильного колеса с противоблокировочным устройством;

3) произвести анализ тормозных качеств автомобиля, оборудованного противоблокировочными устройствами, оценив влияние устройств на показатели процесса торможения в сравнении с обычным торможением;

4) исследовать влияние противоблокировочных устройств на боковую устойчивость автомобиля при торможении.

1. Анализ принципов действия противоблокировочных устройств.

Известные автоматические тормозные системы с противоблокировочными устройствами можно разделить на две группы: 1) сигнальные системы (с обратной связью) и 2) бессигнальные системы (не имеющие обратной связи).

Действие сигнальных систем основано на том, что растормаживание блокирующегося колеса осуществляется после получения сигнала о начале (или конце) блокирования, или о других обстоятельствах, могущих вызвать блокирование. Бессигнальные системы предупреждают возможное блокирование, независимо от того возникло оно или нет.

Значительно большее распространение имеют сигнальные системы как более совершенные. В сигнальных системах противоблокировочные устройства состоят из датчиков блокирования колеса и исполнительных органов, осуществляющих отстормаживание колес по сигналам датчиков.

В качестве сигнала для срабатывания чаще всего используется изменение параметров вращения колеса — угловой скорости или углового ускорения. В некоторых системах для растормаживания используют сигнал, который косвенно характеризует возможность блокирования. Таким сигналом может служить увеличение давления в тормозном приводе выше какого-то заданного значения. Известны также системы, реагирующие на уменьшение тормозной силы при блокировании; на уменьшение реактивного момента на балке заднего моста или на исчезновение эффекта самозаклинивания колодок с серводействием в момент остановки колеса.

Тип датчика, выдающего импульс на растормаживание, определяется видом регулируемой величины и способом ее изменения.

Тип исполнительного органа определяется принятым способом уменьшения приводного усилия при растормаживании колеса.

Уменьшение приводного усилия при современных конструкциях тормозных приводов может осуществляться:

а) снижением давлением жидкости или воздуха в рабочих аппаратах;

б) принудительным отводом тормозных колодок внешней силой.

При пневматическом тормозном приводе снижение давления в рабочих аппаратах осуществляют обычно выпуском воздуха в атмосферу. При гидравлическом приводе оно может осуществляться несколькими путями: выпуском тормозной жидкости из рабочих цилиндров в сливной бак, уменьшением силы нажатия на шток главного тормозного цилиндра, увеличением объемов рабочих цилиндров.

Принудительный отвод колодок (тормозов с гидроприводом) осуществляется либо посредством рычагов силовыми электромагнитами, либо с помощью специальной гидросистемы, в которой создаваемое при разблокировании колеса давление действует на порши рабочих цилиндров противоположно действию давления тормозной системы.

Принцип действия бессигнальной автоматической системы состоит в том, что в процессе торможения к тормозам преднамеренно подводятся пульсирующие приводные усилия, что предотвращает блокирование колес. В такой системе отсутствует датчик блокирования колеса. Исполнительный орган в этом случае может быть выполнен в виде электромагнитного клапана, попеременно соединяющего тормозную магистраль то с напорной магистралью, то со сливом. Электромагнитный клапан срабатывает от специального прерывателя тока, приводимого в действие от двигателя.

На основании обзора и анализа известных из литературы принципиальных схем автомобильных противоблокировочных устройств нами установлено более 50 типов (разновидностей) таких устройств. В диссертации приводится их систематизация, где устройства различаются по таким признакам:

- по группам автоматических систем, к которым они относятся;
- по типу тормозного привода, в составе которого они могут работать;
- по типу данного противоблокировочного устройства как регулятора автоматической системы;
- по виду сигнала для срабатывания противоблокировочного устройства;
- по типу датчика;
- по способу уменьшения приводного усилия (способу растормаживания);
- по исполнительному органу.

Более эффективное торможение будет обеспечено при условии, если противоблокировочные устройства передней и задней оси будут срабатывать независимо друг от друга. Во многих предлагаемых конструкциях блокирование одного из колес автомобиля вызывает снижение приводных усилий сразу на всех колесах. Это может привести к значительному недоиспользованию сцепного веса при торможении.

В ряде конструкций противоблокировочные устройства реагируют на блокирование только задних колес. Они не могут предотвратить возможное нарушение управляемости при торможении на скользких дорогах, когда первыми блокируются передние колеса. Торможение на сухих дорогах будет происходить с пониженной интенсивностью, вследствие недоиспользования сцепного веса колес передней оси.

В некоторых схемах обязательным условием для срабатывания противоблокировочного устройства является полное блокирование колеса. В этом случае при торможении будет наблюдаться значительное проскальзывание колес относительно дороги, что отрицательно скажется на эффективности торможения и сохранении устойчивости и управляемости.

Эффективность торможения автомобиля с противоблокировочными устройствами в значительной степени зависит от вида сигнала, используемого для срабатывания. Анализ показывает, что лучшие показатели эффективности работы будут иметь конструкции, реагирующие на изменение углового замедления колеса. Этому требованию наиболее полно удовлетворяют противоблокировочные устройства с инерционными датчиками, чем, очевидно, и объясняется их наибольшее распространение среди известных конструкций устройств.

В настоящей работе анализ процесса торможения с применением противоблокировочных устройств также произведен в основном применительно к инерционным датчикам блокирования колеса.

2. Торможение автомобильного колеса с противоблокировочным устройством.

Процесс торможения колеса с противоблокировочным устройством отличается непостоянством подводимого тормозного момента, который в результате срабатывания устройства периодически нарастает и убывает. При этом определенным образом изменяются характер вращения колеса и величина действующей на него тормозной силы.

Для достижения эффективного и безопасного торможения необходимо с учетом данного тормозного привода правильно выбрать параметры противоблокировочного устройства, которые обеспечивали бы получение достаточно высокой средней тормозной силы на колесе и надежную работу самого устройства.

Исходные данные для этого могут быть получены в результате анализа процессов блокирования и разблокирования колеса при работе устройства.

В диссертации рассмотрен характер изменения основных величин, определяющих торможение колеса с противоблокировочным устройством. В основу анализа положена схема качения эластичного тормозящего колеса, подробно исследованная в работах Е. А. Чудакова и В. И. Кнороза.

В первый период затормаживания колеса действующая на него тормозная сила $P_{\text{тк}}$ нарастает (в соответствии с увеличением подводимого к колесу тормозного момента $M_{\text{тк}}$) и достигает максимального предельного значения $P_{\text{тк пр max}}$, равного произведению нормальной реакции дороги Z_k на статический коэффициент сцепления $\varphi_{\text{ст}}$. После достижения предела по сцеплению сила $P_{\text{тк}}$, несмотря на дальнейшее увеличение подводимого тормозного момента, начинает уменьшаться, ввиду уменьшения коэффициента сцепления при блокировании. Колесо получает дополнительное угловое замедление, вследствие чего резко замедляет вращение и в течение относительно малого промежутка времени блокируется.

В конце блокирования коэффициент сцепления и тормозная сила достигают своих минимальных значений, характерных для данных условий торможения. При этом

$$P_{\text{тк}} = P_{\text{тк пр min}} = Z_k \varphi_{\text{дн}};$$

$P_{\text{тк пр min}}$ — минимальная предельная сила по сцеплению;

$\varphi_{\text{дн}}$ — динамический коэффициент сцепления.

Снижение коэффициента сцепления при блокировании связано с ростом проскальзывания колеса относительно дороги.

В работе получены формулы для определения угловой скорости ω_k и углового ускорения $\frac{d\omega_k}{dt}$ затормаживаемого колеса и в качестве примера рассмотрено изменение этих параметров для колеса блокирующейся передней оси автомобиля.

$$\omega_k = \frac{v(1-\lambda)}{r_{\text{ко}}}; \quad (1)$$

$$\frac{d\omega_k}{dt} = \frac{1}{r_{\text{ко}}} \left[\frac{dv}{dt}(1-\lambda) - v \frac{d\lambda}{dt} \right], \quad (2)$$

где v — скорость автомобиля;

$\frac{dv}{dt}$ — ускорение (замедление) автомобиля;

λ — степень проскальзывания колеса;

$\frac{d\lambda}{dt}$ — скорость изменения степени проскальзывания;

$r_{\text{ко}}$ — радиус качения колеса при отсутствии торможения.

Выражения (1) и (2) являются общими как для затормаживания, так и для растормаживания колеса.

Для нахождения функций $v = f(t)$ и $\frac{dv}{dt} = f'(t)$ составлено дифференциальное уравнение движения автомобиля с учетом блокирования колес. Закономерности изменения λ во времени могут быть установлены только экспериментальным путем. Согласно полученным нами опытным данным, для целей аналитического исследования, зависимость $\lambda = f(t)$ может быть представлена: на участках до начала блокирования и в период интенсивного

блокирования колеса — параболическими кривыми; переходный участок — частью окружности.

Проведенное сравнение расчетных и опытных данных процесса блокирования колеса показало удовлетворительное их совпадение.

Когда угловое замедление колеса $\frac{d\omega_k}{dt}$ в процессе блокирования достигнет величины, на которую отрегулирован датчик противоблокировочного устройства, первый выдаст импульс на растормаживание. Начало растормаживания (т. е. уменьшение $M_{\text{тк}}$) наступит, спустя некоторое время τ_1 , равное времени запаздывания системы.

До тех пор пока $M_{\text{тк}}$ остается больше $P_{\text{тк}} r_{\text{д}}$, колесо замедляет вращение, а тормозная сила, оставаясь равной предельной силе по сцеплению, продолжает уменьшаться. По достижении

моментом $M_{\text{тк}}$ значения $P_{\text{тк}} r_{\text{д}}$, угловое замедление $\frac{d\omega_k}{dt}$ становится равным нулю, угловая скорость колеса ω_k достигает своего минимального значения. При дальнейшем уменьшении подводимого тормозного момента возникает положительная разность моментов $P_{\text{тк}} r_{\text{д}} - M_{\text{тк}}$, которая затрачивается на сообщение колесу положительного ускорения, вследствие чего оно начинает раскручиваться.

В процессе разблокирования колеса проскальзывание его относительно дороги уменьшается, что сопровождается увеличением коэффициента сцепления и тормозной силы. Сила $P_{\text{тк}}$ снова достигает максимума, а затем приходит в соответствие с величиной подводимого тормозного момента. Угловая скорость ω_k при этом, увеличиваясь, достигает значения, соответствующего линейной скорости автомобиля; угловое ускорение сначала резко возрастает, затем уменьшается и принимает отрицательное значение.

По истечении времени t_1 выдерживания импульса на растормаживание и времени τ_2 запаздывания системы процесс может повториться.

Описанный характер изменения параметров блокирования колеса в основном подтверждается экспериментальными исследованиями, проведенными на кафедре автомобилей и двигателей ХАДИ.

При непрерывном срабатывании противоблокировочного устройства процесс блокирования и разблокирования будет многократно повторяться вплоть до полной остановки автомобиля. При этом действительная тормозная сила на колесе будет изменяться, периодически принимая какие-то максимальные и минимальные значения. Учитывая, что частота срабатывания устройства в среднем равна 4—5 гц, при расчетах эффективности торможения и рассмотрении устойчивости автомобиля можно считать, что на колесо в процессе торможения действует некоторая средняя тормозная сила $P_{\text{ткср}}$, которая будет всегда меньше силы $P_{\text{тк пр max}}$,

но при соответствующей регулировке противоблокировочного устройства, и особенно при низких коэффициентах сцепления, может быть значительно выше $P_{\text{тк пр min}}$.

Отношение средней тормозной силы $P_{\text{тк сп}}$, действующей на колесо, к максимальной предельной силе по сцеплению $Z_{k\varphi_{\text{ст}}}$ в диссертации названо коэффициентом использования сцепного веса колеса при работе противоблокировочного устройства (ξ_k).

$$\xi_k = \frac{P_{\text{тк сп}}}{Z_{k\varphi_{\text{ст}}}}. \quad (3)$$

На основе проведенного исследования процессов блокирования и разблокирования колеса рассмотрено общее влияние различных параметров противоблокировочного устройства на эффективность торможения.

3. Анализ тормозных качеств автомобиля, оборудованного противоблокировочными устройствами

Применяемое в современных конструкциях тормозных систем постоянное распределение тормозной силы между осями не позволяет в большинстве случаев торможения полностью использовать сцепной вес автомобиля, ввиду возможного нарушения устойчивости или управляемости. Максимальная интенсивность торможения ограничивается пределом блокирования колес одной оси (колеса которой блокируются первыми), хотя на колесах другой оси в это время может еще оставаться значительный недоиспользованный запас по сцеплению.

Расчеты показывают, что в некоторых случаях (в частности, при низких значениях коэффициента сцепления) недоиспользование сцепного веса может доходить до 30 и более процентов, что соответствует увеличению тормозного пути более чем на 40%.

Противоблокировочные устройства, предотвращая блокирование колес одной из осей автомобиля, предупреждают опасность возникновения заноса или потери управляемости. Тем самым они позволяют повысить интенсивность торможения за счет другой оси, колеса которой еще имеют запас по сцеплению. В результате область эффективных и безопасных торможений расширяется.

По аналогии с единичным колесом обозначено: ξ , ξ_1 и ξ_2 — коэффициенты использования сцепного веса (соответственно автомобиля, передней и задней оси) при торможении с применением противоблокировочных устройств.

$$\xi = \frac{P_{\text{т сп}}}{G_{\varphi_{\text{ст}}}}; \quad (4)$$

$$\xi_1 = \frac{P_{\text{т1 сп}}}{Z_{1\text{ сп}\varphi_{\text{ст}}}}; \quad (5)$$

$$\xi_2 = \frac{P_{\text{т2 сп}}}{Z_{2\text{ сп}\varphi_{\text{ст}}}}, \quad (6)$$

где

$P_{\text{т сп}}$ — общая средняя тормозная сила, действующая на автомобиль;
 $P_{\text{т1 сп}}$ и $P_{\text{т2 сп}}$, $Z_{1\text{ сп}}$ и $Z_{2\text{ сп}}$ — средние тормозные силы и средние нормальные реакции дороги, действующие соответственно на колеса передней и задней оси.

Торможение автомобиля с противоблокировочными устройствами может происходить:

- 1) без блокирования колес, при не работающих противоблокировочных устройствах;
- 2) при работающих устройствах на одной оси;
- 3) при работающих устройствах на обеих осях.

Влияние устройств на распределение тормозной силы между осями, использование сцепного веса и эффективность торможения рассмотрено на основе сравнения ряда характерных режимов торможения автомобиля с устройствами и без устройств. Для этого были выбраны следующие режимы торможения:

- I — на пределе блокирования колес обеих осей (оптимальный режим);
- II — на пределе блокирования колес одной оси;
- III — при работающих противоблокировочных устройствах на колесах одной оси и находящихся на пределе блокирования колесах другой оси;
- IV — при работающих противоблокировочных устройствах на обеих осях;
- V — при заблокированных колесах обеих осей.

В качестве показателей для сравнительной оценки процессов торможения были приняты:

β — коэффициент распределения тормозной силы между осями;

m — коэффициент использования сцепного веса;

k — относительное увеличение тормозного пути;

$S_{\text{т}}$ — путь торможения.

При работе устройств

$$\beta = \beta_{\text{сп}} = \frac{P_{\text{т1 сп}}}{P_{\text{т сп}}} ; \quad m = m_{\text{сп}} = \xi = \frac{P_{\text{т сп}}}{G_{\varphi_{\text{ст}}}} ; \quad k = \frac{1}{m_{\text{сп}}} - 1.$$

В таб. 1 приведены расчетные формулы для определения вышеперечисленных показателей на всех рассматриваемых режимах торможения. В зависимости от условий торможения каждый из режимов II, III и IV рассматривается в двух случаях.

В таблице обозначено:

β_0 — постоянный коэффициент распределения тормозной силы между осями, принятый для данного автомобиля;

$\beta_{\text{опт}}$ — оптимальное значение коэффициента β , соответствующее распределению тормозной силы между осями пропорционально вертикальным нагрузкам, приходящимся на каждую ось;

Таблица 1

		Расчетные формулы				
Режим и условия торможения		Коэффициент распределения тормозной силы между осями β		Относительное увеличение тормозного пути k		Путь торможения S_T
I	$\varphi = \varphi_{\text{опт}}$	$\beta = \beta_0 = \beta_{\text{опт}}$	$m = 1$	$k = 0$		$S_T = \frac{v_0^2}{2g\varphi_{\text{ct}}}$
II'	$\varphi < \varphi_{\text{опт}}$	$\beta = \beta_0$	$m = \frac{b}{L\beta_0 - \varphi_{\text{ct}}h_g}$	$k = \frac{L\beta_0 - \varphi_{\text{ct}}h_g - b}{b}$	$S_T = \frac{v_0^2}{2g\varphi_{\text{ct}}} \cdot \frac{L\beta_0 - \varphi_{\text{ct}}h_g}{b}$	
II''	$\varphi > \varphi_{\text{опт}}$	$\beta = \beta_0$	$m = \frac{a}{L(1 - \beta_0) + \varphi_{\text{ct}}h_g}$	$k = \frac{b - L\beta_0 + \varphi_{\text{ct}}h_g}{a}$	$S_T = \frac{v_0^2}{2g\varphi_{\text{ct}}} \cdot \frac{L(1 - \beta_0) + \varphi_{\text{ct}}h_g}{a}$	
III'	$\varphi < \varphi_{\text{опт}}$	$\beta = \beta_{\text{cp}} = \frac{\xi_1(b + \varphi_{\text{ct}}h_g)}{a + b\xi_1}$	$m = m_{\text{cp}} = \frac{a + b\xi_1}{L + \varphi_{\text{ct}}h_g(1 - \xi_1)}$	$k = \frac{(b + \varphi_{\text{ct}}h_g)(1 - \xi_1)}{a + b\xi_1}$	$S_T = \frac{v_0^2}{2g\varphi_{\text{ct}}} \cdot \frac{L + \varphi_{\text{ct}}h_g(1 - \xi_1)}{a + b\xi_1}$	
III''	$\varphi > \varphi_{\text{опт}}$	$\beta = \beta_{\text{cp}} = \frac{b + \varphi_{\text{ct}}h_g\xi_2}{b + a\xi_2}$	$m = m_{\text{cp}} = \frac{b + a\xi_2}{L - \varphi_{\text{ct}}h_g(1 - \xi_2)}$	$k = \frac{(a - \varphi_{\text{ct}}h_g)(1 - \xi_2)}{b + a\xi_2}$	$S_T = \frac{v_0^2}{2g\varphi_{\text{ct}}} \cdot \frac{L - \varphi_{\text{ct}}h_g(1 - \xi_2)}{b + a\xi_2}$	
VIf	$\xi_1 \neq \xi_2$	$\beta = \beta_{\text{cp}} = \frac{\xi_1(b + \varphi_{\text{ct}}h_g\xi_2)}{b\xi_1 + a\xi_2}$	$m = m_{\text{cp}} = \frac{b\xi_1 + a\xi_2}{L - \varphi_{\text{ct}}h_g(\xi_1 - \xi_2)}$	$k = \frac{L - (b\xi_1 + a\xi_2) - \varphi_{\text{ct}}h_g(\xi_1 - \xi_2)}{b\xi_1 + a\xi_2}$	$S_T = \frac{v_0^2}{2g\varphi_{\text{ct}}} \cdot \frac{L - \varphi_{\text{ct}}h_g(\xi_1 - \xi_2)}{b\xi_1 + a\xi_2}$	
IV''	$\xi_1 = \xi_2 = \xi$	$\beta = \beta_{\text{cp}} = \frac{b + \varphi_{\text{ct}}h_g\xi}{L}$	$m = m_{\text{cp}} = \xi$	$k = \frac{1 - \xi}{\xi}$		$S_T = \frac{v_0^2}{2g\varphi_{\text{ct}}\xi}$
V	$\varphi = \varphi_{\text{дн}} = \varphi_{\text{ct}}$	$\beta = \frac{b + \varphi_{\text{ct}}h_g q}{L}$	$m = q$	$k = \frac{1 - q}{q}$		$S_T = \frac{v_0^2}{2g\varphi_{\text{ct}}q}$

$\varphi_{\text{опт}}$ — оптимальное значение коэффициента сцепления, при котором колеса обеих осей автомобиля блокируются одновременно;

v_0 — начальная скорость движения автомобиля;

L — база автомобиля;

a и b — расстояние от центра тяжести соответственно до передней и задней оси;

h_g — высота центра тяжести;

$q = \frac{\varphi_{\text{дн}}}{\varphi_{\text{ct}}}$ — коэффициент, характеризующий уменьшение коэффициента сцепления при блокировании колеса.

В случае применения противоблокировочных устройств коэффициент β становится переменной величиной и изменяется в соответствии с изменением коэффициента сцепления и координат центра тяжести. И хотя при этом β продолжает оставаться не равным $\beta_{\text{опт}}$, однако разница между ними может быть существенно уменьшена. Это позволяет в ряде случаев полнее использовать сцепной вес автомобиля, по сравнению с торможением на пределе блокирования колес одной оси, а возможность превышения средних сил на осиях $P_{T1\text{ср}}$ и $P_{T2\text{ср}}$ над соответствующими предельными силами $Z_{1\varphi_{\text{дн}}}$ и $Z_{2\varphi_{\text{дн}}}$ позволяет получить более высокую эффективность торможения по сравнению с торможением при заблокированных колесах.

Особенно хорошим использование сцепного веса получается при работающих противоблокировочных устройствах на колесах одной оси и находящихся на пределе блокирования колесах другой оси.

Эффективность торможения с устройствами, по сравнению с эффективностью торможения на пределе блокирования колес одной оси, будет тем выше, чем больше действительные условия сцепления отличаются от оптимальных. По мере увеличения (или уменьшения) коэффициента сцепления и приближения его к $\varphi_{\text{опт}}$, разница в степени использования сцепного веса при торможении с устройствами и без них уменьшается и при определенных значениях φ она совсем исчезает. При дальнейшем приближении φ к значению $\varphi_{\text{опт}}$ эффективность торможения с устройствами может быть меньшей, чем без устройств. Значения коэффициентов сцепления, при которых использование сцепного веса в том и другом случаях становится одинаковым, при заданных конструктивных параметрах автомобиля, зависят от величины коэффициентов ξ_1 , ξ_2 и ξ .

4. Исследование влияния противоблокировочных устройств на боковую устойчивость автомобиля

Сохранение устойчивости и управляемости автомобиля при торможении является одним из основных требований, предъявляемых к тормозным системам. Максимальная интенсивность торможения обычно ограничивается пределом по устойчивости или управляемости.

Диапазон вопросов, связанных с изучением влияния противоблокировочных устройств на боковую устойчивость автомобиля, весьма обширный и может быть достаточно полно разработан только в специальном исследовании. При этом могут быть применены различные известные методы анализа устойчивости, предложенные для обычного автомобиля.

В работе задача была ограничена только анализом способности тормозящего колеса с противоблокировочным устройством сохранять свою боковую устойчивость при действии на него поперечной силы, а также рассмотрено изменение характеристик боковой устойчивости автомобиля (предложенных Е. А. Чудаковым), в связи с применением противоблокировочных устройств.

Рассмотрение боковой устойчивости колеса произведено на основании известных положений о взаимодействии эластичного колеса с опорной поверхностью, в предположении, что на него действует постоянная поперечная сила. При этом явление рассматривалось за период от начала торможения до полного блокирования колеса. В качестве основного показателя поперечной устойчивости затормаживаемого колеса была принята скорость его бокового перемещения — v_y .

При действии на затормаживаемое колесо боковой силы блокирование его начинается, когда результирующая горизонтальная реакция дороги R_k достигнет предела по сцеплению. Колесо начинает проскальзывать относительно опорной поверхности в продольном направлении и одновременно скользить вбок. Для этих условий характерны соотношения:

$$X_k^2 + Y_k^2 = Z_k^2 \varphi^2, \quad (7)$$

$$\frac{v_{yc}}{v_c} = \frac{Y_k}{X_k} = \frac{Y_k}{\sqrt{Z_k^2 \varphi^2 - Y_k^2}}, \quad (8)$$

где X_k и Y_k — касательная и боковая реакции дороги на колесо;

v_{yc} — скорость бокового скольжения колеса;

v_c — скорость проскальзывания колеса.

В начале блокирования, когда скорость проскальзывания еще невелика (или совсем отсутствует), колесу достаточно приобрести соответственно небольшую скорость поперечного скольжения v_{yc} , чтобы воспринять довольно существенную по величине боковую силу. Иными словами, при торможении на пределе блокирования колесо остается еще способным противостоять определенным поперечным силам без заметного отклонения от заданного направления движения.

В случае же движения заблокированного колеса, когда $v_c = v$, та же боковая сила вызовет значительно большую боковую скорость скольжения, которая будет лишь во столько раз меньше скорости v , во сколько раз Y_k меньше $\sqrt{Z_k^2 \varphi^2 - Y_k^2}$. Колесо практически потеряет устойчивость. Уменьшение коэффициента сцепления при блокировании способствует увеличению скорости v_{yc} .

Так как противоблокировочное устройство не допускает значительного увеличения скорости проскальзывания v_c , данная боковая сила не вызывает заметных поперечных перемещений колеса. В результате, при торможении с устройством, колесо сохраняет свою боковую устойчивость.

Для анализа влияния противоблокировочных устройств на боковую устойчивость автомобиля использован график зависимости коэффициента боковой устойчивости η_t от коэффициента тормозной силы γ_t , предложенный Е. А. Чудаковым.

На примере автомобиля ЗИЛ-130 рассмотрены характеристики боковой устойчивости задней тормозящей оси с жесткими и эластичными колесами. Получены аналитические зависимости $\eta_{t2} = f(\gamma_t)$, учитывающие работу противоблокировочных устройств и соответствующие значениям коэффициента η_{t2} , меньшим η'_{t2} .

η'_{t2} — предельное значение коэффициента η_{t2} , характерное тем, что в условиях торможения, когда $\eta_{t2} < \eta'_{t2}$ боковому скольжению оси всегда предшествует начало блокирования ее внутреннего колеса.

При работающих устройствах на задней оси и находящемся на пределе блокирования внутреннем колесе передней оси (жесткие колеса)

$$\eta_{t2} = \frac{B_2}{2h_g} \left[1 - \gamma_{t \text{ср}} \frac{L - \varphi_{ct} h_g (1 - \xi_2)}{\varphi_{ct} (b + a\xi_2)} \right]; \quad (9)$$

при работающих устройствах на обеих осях и $\xi_1 = \xi_2 = \xi$

$$\eta_{t2} = \frac{B_2}{2h_g} \left(1 - \gamma_{t \text{ср}} \frac{1}{\varphi_{ct}\xi} \right); \quad (10)$$

B_2 — ширина колеи задних колес.

В случае эластичных колес и при работающих устройствах на обеих осях зависимость $\eta_{t2} = f(\gamma_t)$ имеет вид

$$A\eta_{t2}^2 + B\eta_{t2} + C = 0, \quad (11)$$

где постоянные коэффициенты A , B и C определяются из выражений:

$$A = \xi^2 \left(0,25 - \varphi_{ct}^2 \frac{h_g^2}{B_2^2} \right);$$

$$B = \varphi_{ct}^2 \xi^2 \left(1 - \gamma_{t \text{ср}} \frac{h_g}{a} \right) \frac{h_g}{B_2};$$

$$C = 0,25 \left[\gamma_{t \text{ср}}^2 \left(1 - \varphi_{ct} \frac{h_g}{a} \xi \right)^2 - \varphi_{ct}^2 \xi^2 \left(1 - \gamma_{t \text{ср}} \frac{h_g}{a} \right)^2 \right].$$

Здесь $\gamma_{t \text{ср}}$ — среднее значение коэффициента тормозной силы γ_t ,

равное отношению $\frac{P_{t \text{ср}}}{G}$:

Благодаря применению противоблокировочных устройств, в условиях, когда $\eta_{t2} < \eta'_{t2}$, автомобиль сохраняет боковую устойчивость, независимо от величины приводных усилий на колесах. Кроме того, при определенных значениях коэффициента ξ область безопасных торможений автомобиля с устройствами становится большей, чем при торможении на пределе блокирования внутреннего колеса задней оси.

При боковых силах, обусловливающих величину $\eta_{t2} > \eta'_{t2}$, боковое скольжение оси с жесткими колесами может начаться без предварительного блокирования внутреннего колеса. В этих условиях противоблокировочные устройства фактически не могут предотвратить возникновение заноса. Однако, необходимо иметь в виду, что с началом заноса оси начинается также и блокирование ее колес. В результате возможно срабатывание противоблокировочных устройств в процессе уже начавшегося заноса. Этот вопрос требует дальнейшего изучения, с тем чтобы определить пределы эффективного воздействия противоблокировочных устройств на процесс торможения автомобиля при действии на него боковых сил.

5. Экспериментальное исследование работы противоблокировочных устройств и их влияния на тормозные качества автомобиля.

Для экспериментальной проверки основных положений, характеризующих работу противоблокировочных устройств и их влияние на процесс торможения, были проведены тормозные испытания автомобиля, оборудованного такого типа устройствами. Объектом испытаний являлся автобус ПАЗ-651.

Существующие конструкции противоблокировочных устройств, предназначенные для гидравлического тормозного привода, как правило, работают по принципу перепуска тормозной жидкости в момент растормаживания колес из рабочих цилиндров в сливной бак. Это требует коренного изменения всего тормозного привода и установки на автомобиль ряда дополнительных приборов, таких как гидроаккумулятор и др.

Автором было разработано и применено противоблокировочное устройство, в котором растормаживание колес в момент их блокирования осуществляется не снижением давления в рабочих цилиндрах, а принудительным отводом тормозных колодок внешней силой. При этом полностью использовался существующий тормозной привод и лишь каждое из колес оборудовалось дополнительным механизмом растормаживания. В качестве следящих устройств (датчиков начала блокирования колеса) были применены инерционные датчики типа УА-16.

Механизм растормаживания (рис. 1) электромеханического типа так же, как и датчики начала блокирования колеса, монтируется на каждом колесе. Он состоит из силового электромагнита 1, рычага 2 и пальца 3 с двумя штифтами 4 и двух тяг 5.

При блокировании колеса датчик замыкает цепь электромагнита. Его сердечник втягивается, поворачивая рычаг 2 и жестко связанный с ним палец 3. При этом штифты пальца 3 через тяги 5 отводят тормозные колодки от барабана, осуществляя растормаживание.

В качестве силовых электромагнитов использовались тяговые реле РС-6 автомобильных стартеров СТ-15.

Механизм позволял осуществлять частичную регулировку степени растормаживания колеса и времени нахождения его в расторможенном состоянии.

Во время испытаний определялись следующие данные:

- давление в тормозной системе (p);
- тормозные моменты на левых колесах передней и задней оси (M_{tk1} и M_{tk2});
- скорость автомобиля (v);
- путь торможения автомобиля (S_t);
- обороты заднего левого колеса (n_{k2}).

Изменение всех параметров фиксировалось на ленте осциллографа.

Осциллографическая установка состояла из осциллографа К-9-21, усилителя 8АНЧ-7м, блока питания, электроизмерительных приборов, проводочных и других датчиков.

Торможение при испытаниях осуществлялось с помощью специального приспособления, обеспечивающего сохранение требуемого постоянного давления на поршень главного тормозного цилиндра в течение всего процесса торможения с максимальной интенсивностью.

Испытания автомобиля проводились в основном в условиях низких коэффициентов сцепления — на льду и на скользких дорогах с твердым покрытием и различным состоянием поверхности (обледенелый асфальт, заснеженная укатанная дорога, асфальт, покрытый тающим снегом, мокрый и грязный асфальт). Большинство испытаний было проведено на прямой дороге и лишь часть из них — на повороте постоянного радиуса.

Чтобы можно было оценить влияние противоблокировочных устройств на изменение показателей торможения, в каждом случае испытательные заезды выполнялись с включенными и выключенными устройствами. Для сравнения были выбраны следующие режимы торможения:

- на пределе блокирования колес передней оси (режим II');

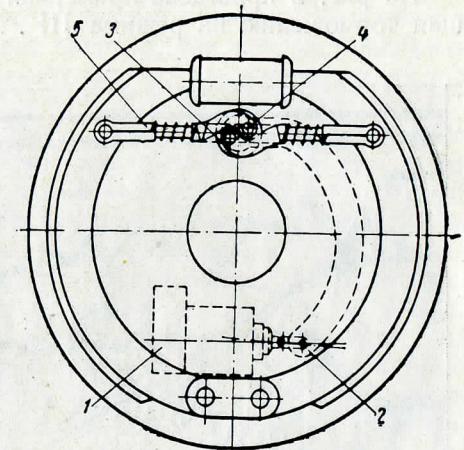


Рис. 1.

2) при работающих противоблокировочных устройствах на колесах передней оси и находящихся на пределе блокирования колесах задней оси (режим III');

3) при работающих устройствах на обеих осях (режим IV');

4) при заблокированных колесах обеих осей (режим V).

Полученные в ходе испытаний записи процессов торможения использовались затем как для анализа работы противоблокировочных устройств, так и для определения влияния их на эффективность торможения.

На рис. 2 приведена примерная осциллограмма, соответствующая торможению на режиме III'.

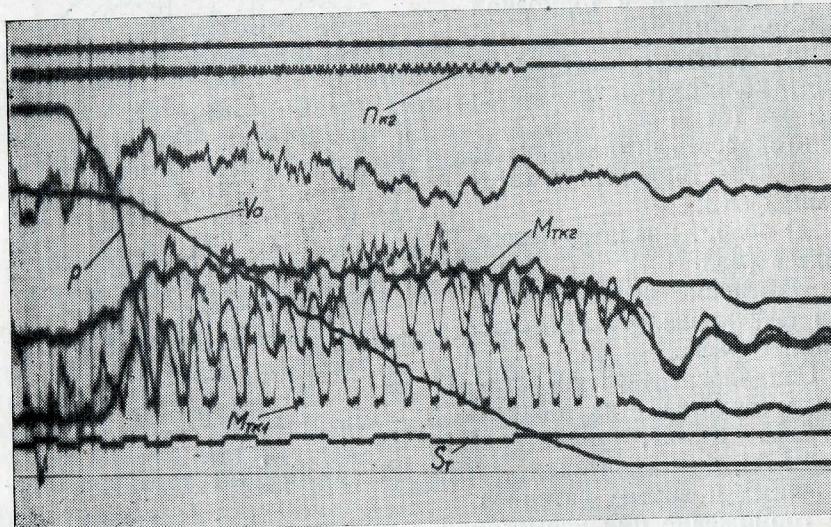


Рис. 2.

Испытаниями установлено, что работоспособность противоблокировочного устройства в значительной мере зависит от выбранной длительности импульса на расторможение t_i . С уменьшением скорости автомобиля в процессе торможения длительность импульса уменьшалась. Это сопровождалось соответствующим увеличением частоты срабатывания противоблокировочного устройства. Средняя частота срабатывания равнялась 4,5—5 гц.

Для рассматриваемых противоблокировочных устройств характерны сравнительно высокие скорости растормаживания и затормаживания колеса. Скорость растормаживания равнялась в среднем 2100 кгм/сек, скорость затормаживания — 3150 кгм/сек.

Общий характер изменения скорости автомобиля говорит о том, что последний на участке торможения с максимальной интенсивностью движется практически равнозамедленно. Следовательно,

действующая на него средняя тормозная сила $P_{T_{cr}}$ в процессе торможения остается примерно постоянной. Отсюда можно считать, что постоянными остаются также и коэффициенты использования сцепного веса ξ , ξ_1 и ξ_2 .

Принятые противоблокировочные устройства в рассматриваемых условиях испытаний обеспечивали величины коэффициентов использования сцепного веса на осях $\xi_1 = 0,7 - 0,8$ и $\xi_2 = 0,8 - 0,9$.

Проведенные испытания показали, что предложенная конструктивная схема противоблокировочного устройства работоспособна и может обеспечивать достаточно высокую эффективность торможения. Для работы устройства по такому принципу не требуется больших дополнительных затрат энергии, так как растормаживание колеса наступает при сравнительно малых перемещениях тормозных колодок.

В большинстве случаев противоблокировочные устройства обеспечивали более высокую интенсивность торможения, по сравнению с интенсивностью на пределе блокирования колес передней оси или со всеми заблокированными колесами. Особенно эффективным режимом торможения был режим при работающих противоблокировочных устройствах на колесах передней оси и находящихся на пределе блокирования колесах задней оси. При $\varphi = 0,1 - 0,2$ ($\varphi_{opt} = 0,419$) и торможении на этом режиме коэффициент использования сцепного веса примерно равнялся 0,92, что соответствовало уменьшению тормозного пути, по сравнению с торможением на пределе блокирования передних колес, в среднем на 20%. С началом работы противоблокировочных устройств и на другой оси коэффициент использования сцепного веса несколько снижался, до значения 0,85.

Самая низкая интенсивность торможения в указанных условиях сцепления, как правило, наблюдалась при торможении со всеми заблокированными колесами.

При торможении с включенными противоблокировочными устройствами одной или обеих осей, а также на пределе блокирования колес передней оси автомобиль полностью сохранял устойчивость и управляемость. В случае торможения с заблокированными колесами автомобиль терял управляемость, но так как первыми блокировалась колеса передней оси, развивающегося заноса не наблюдалось.

Проведенные испытания в основном подтвердили принципиальные положения, характеризующие процесс торможения автомобиля с применением противоблокировочных устройств, которые были высказаны в теоретическом анализе.

ВЫВОДЫ

- Совершенствование конструкции тормозных систем автомобилей должно предусматривать рациональное использование сцепного веса в любых условиях торможения и предотвращение блокирования затормаживаемых колес.

Одним из способов улучшения использования сцепного веса, при одновременном обеспечении устойчивости и управляемости движения, является применение противоблокировочных устройств.

2. В настоящее время известно много различных конструктивных схем противоблокировочных устройств, предназначенных для работы в составе автомобильных тормозных приводов. В диссертации дана систематизация и произведен анализ принципов действия большинства предложенных конструкций противоблокировочных устройств. Лучшие показатели эффективности торможения обеспечивают противоблокировочные устройства, реагирующие на изменение углового замедления колеса — в частности, устройства с инерционными датчиками.

3. Проведенное исследование процесса торможения колеса с противоблокировочным устройством вскрыло общую картину явлений, связанных с этим, на основании чего в работе произведен предварительный анализ влияния различных параметров противоблокировочного устройства на эффективность торможения.

Основным параметром, определяющим работоспособность и эффективность действия противоблокировочного устройства, является длительность импульса на растормаживание t_i . Величину времени t_i необходимо выбирать в соответствии с другими параметрами устройства и с учетом условий сцепления.

4. С уменьшением скорости автомобиля в процессе торможения увеличивается интенсивность протекания процессов блокирования и разблокирования колеса. Это сопровождается уменьшением действительной и необходимой длительности импульса на растормаживание и соответствующим увеличением частоты срабатывания устройства.

Регулировка датчика должна осуществляться с учетом изменения длительности импульса в процессе торможения.

5. Определение показателей блокирования и разблокирования колеса может быть произведено, исходя из характера изменения степени проскальзывания λ .

В работе приводится пример аналитического определения угловой скорости и углового замедления затормаживаемого колеса блокирующейся оси автомобиля.

6. При применении противоблокировочных устройств эффективность торможения колеса определяется средним значением тормозной силы за цикл, которое всегда будет меньше максимальной предельной силы по сцеплению, но в то же время может быть больше предельной тормозной силы на заблокированном колесе.

7. Противоблокировочные устройства позволяют изменять соотношение тормозных сил на осях с учетом изменения условий торможения. Это дает возможность, при определенных значениях коэффициента сцепления, более полно использовать сцепной вес, чем при торможении на пределе блокирования колес одной оси.

Улучшение использования сцепного веса становится тем заметнее, чем больше действительные условия сцепления отличаются

от условий сцепления, допускающих одновременное доведение до юза колес обеих осей. При значениях φ , близких к $\varphi_{\text{опт}}$, эффективность торможения с противоблокировочными устройствами может быть ниже, чем без устройств.

В процессе торможения при непрерывно работающих противоблокировочных устройствах, среднее значение общей тормозной силы, действующей на автомобиль, и средние значения тормозных сил на отдельных осях остаются практически постоянными.

8. Наиболее эффективным режимом торможения является режим при работающих устройствах на колесах одной оси и находящихся на пределе блокирования колесах другой оси. С началом работы устройств и на другой оси интенсивность торможения несколько снижается.

Согласно полученным экспериментальным данным, при испытаниях автомобиля на скользких дорогах ($\varphi = 0,1 - 0,2$; $\varphi_{\text{опт}} = 0,419$) в первом случае тормозной путь уменьшался в среднем на 20%, во втором случае — на 12%, по сравнению с тормозным путем при торможении на пределе блокирования колес передней оси.

Для определения различных показателей торможения автомобиля с противоблокировочными устройствами в диссертации приведены соответствующие расчетные зависимости.

9. При торможении с применением противоблокировочных устройств автомобиль сохраняет устойчивость движения.

В диссертации проанализирована способность тормозящего колеса противостоять боковым силам, что позволило объяснить причину сохранения им поперечной устойчивости при работе противоблокировочного устройства.

10. При наличии противоблокировочного устройства поперечное скольжение колеса происходит в периоды, когда результирующая горизонтальная реакция равна предельной силе по сцеплению. Так как устройство не допускает значительного увеличения скорости проскальзывания v_c , колесо остается способным воспринимать определенную боковую силу без заметного отклонения от заданного направления движения, т. е. практически сохраняя боковую устойчивость.

В периоды, когда результирующая реакция принимает значения меньше предельной силы по сцеплению, поперечное скольжение колеса отсутствует.

11. Анализ боковой устойчивости автомобиля, проведенный с помощью графиков $\eta_t = f(\gamma_t)$, показал, что при определенных значениях коэффициента сцепления и значениях $\eta_{t2} < \eta_{r2}$ противоблокировочные устройства расширяют область устойчивых торможений, приближая ее к оптимальной.

Вопросы предотвращения заноса посредством противоблокировочных устройств, при действии на автомобиль значительных боковых сил ($\eta_{t2} > \eta_{r2}$), требуют дальнейшего исследования.

12. В результате проведенного экспериментального исследования подтверждены основные положения, характеризующие работу противоблокировочных устройств и их влияние на тормозные свойства автомобиля. Доказана принципиальная работоспособность и целесообразность применения разработанной конструктивной схемы противоблокировочного устройства с принудительным отводом тормозных колодок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Ломака С. И. Влияние противоблокировочных устройств на устойчивость автомобиля при торможении на повороте. Труды ХАДИ, вып. 29, 1962.
2. Булгаков Н. А., Гредескул А. Б., Ломака С. И. Исследование динамики торможения автомобиля. Научное сообщение ХАДИ, № 18 1962.
3. Ломака С. И. Экспериментальное исследование влияние противоблокировочных устройств на процесс торможения автомобиля. «Автомобильная промышленность», № 12, 1963.
4. Ломака С. И. Влияние противоблокировочных устройств на эффективность торможения автомобиля. «Автомобильный транспорт», 1965, вып. 2, Киев, изд. «Техника».