

Л. Я. Волчок, П. В. Прокашко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПУСКА ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В процессе эксплуатации тракторных двигателей пуск относится к числу наиболее часто повторяемых операций. От степени сложности и трудоемкости этой операции и от безотказности пусковой системы во многом зависят эксплуатационные качества двигателя и срок его службы: потери рабочего времени машины, повышенный износ двигателя и его пускового механизма. Иногда трудности пуска двигателя, особенно дизелей, в холодное время года побуждают тракториста применять различные недозволённые приемы для облегчения пуска, а также не останавливать двигатель при длительных паузах в работе. Работа двигателя на холостом ходу в течение длительного времени приводит к нагарообразованию, закоксовыванию и залеганию поршневых колец.

Поэтому изучение процесса пуска двигателя относится к числу наиболее актуальных задач исследования двигателей.

В настоящей работе рассматривается разработанная экспериментальная установка, а также измерительная аппаратура и методика исследования тракторных дизелей в условиях низких температур.

Всесторонние исследования процессов пуска тракторных дизелей можно выполнять только на специальных стендах в лабораторных условиях. Такие стенды должны удовлетворять ряду требований в соответствии с поставленными задачами.

Во всех случаях исследования пуска тракторных двигателей ставится задача изучения пуска в наиболее тяжелых условиях, характеризующихся низкими температурами окружающего воздуха и самого двигателя. Поэтому установка должна включать холодильную камеру для двигателя. Наиболее низкая температура в камере должна достигать 30—35°C ниже нуля, если не ставится задача исследования при особо тяжелых условиях.

Для создания условий пуска двигателя в холодильной камере, соответствующих пуску на открытом воздухе, достаточно предварительно охладить двигатель и воздух в камере до заданной температуры. В этих условиях камера может обслуживаться холодильным агрегатом сравнительно малой мощности.

Условия работы пускового устройства двигателя можно охарактеризовать величиной крутящего момента, необходимого для проворачивания коленчатого вала, и угловой скоростью вращения последнего. Причем как та, так и другая величины в процессе пуска характеризуются большой степенью неравномерности. Поэтому наиболее правильное представление о законе изменения этих величин можно составить на основании непрерывной записи их мгновенных значений. Если в качестве пускового устройства применяется электрический стартер, то дополнительной характеристикой может служить осциллограмма изменений электрического напряжения и сила тока в цепи стартера.

Условия возникновения первых вспышек топлива в цилиндрах двигателя определяются в основном температурой и давлением воздуха в цилиндре в конце сжатия. Поэтому измерять эти величины следует в первую очередь.

Объективная оценка эффективности протекания процесса пуска может быть осуществлена путем регистрации вспышек топлива в цилиндрах, их интенсивности и стабильности. Так как условия возникновения первых вспышек в отдельных цилиндрах неодинаковы, то очень важно иметь возможность распознавать на осциллограмме, к каким цилиндрам относятся зарегистрированные вспышки.

На протекание процесса пуска существенно влияние оказывают качество работы топливной аппаратуры на низких оборотах, степень заполнения цилиндров воздухом (величина коэффициента наполнения), величина утечек воздуха из цилиндра через неплотности за время сжатия.

Для проведения этих исследований необходимы специальные стенды.

Разработанный стенд позволяет осуществлять измерение всего комплекса величин, характеризующих процесс пуска, за исключением последней группы (коэффициента наполнения, утечки заряда и процесса впрыска топлива).

Холодильная камера. В установке применена разборная холодильная камера типа НКР-1, серийно выпускаемая отечественной промышленностью (рис. 1). Внутренние размеры камеры $1,85 \times 1,85 \times 2,02$ м. Камера оборудована фреоновым одноступенчатым компрессорным агрегатом типа ФАК-1,5 м производительностью 1500 ккал/ч. При тщательном уплотнении щелей в стыках стенок камеры агрегат может поддерживать температуру до -26°C . Для достижения более низких температур предусматривается установка холодильного агрегата типа АКВФ-6 производительностью 6000 ккал/ч.

Дверной проем камеры имеет размеры 170×77 см (по высоте и ширине), что позволяет устанавливать в камере в основном все тракторные двигатели малой и средней мощности. Установку боль-

ших двигателей можно осуществить путем отсоединения одной из боковых панелей камеры.

Пусковое устройство. Одной из наиболее трудных задач при создании установки для исследования пуска двигателей является измерение крутящего момента, прилагаемого к валу двигателя во время пуска.

При исследовании электростартерного пуска наиболее часто применяют метод тарированного стартера, основанный на определении крутящего момента по электрической мощности и чис-

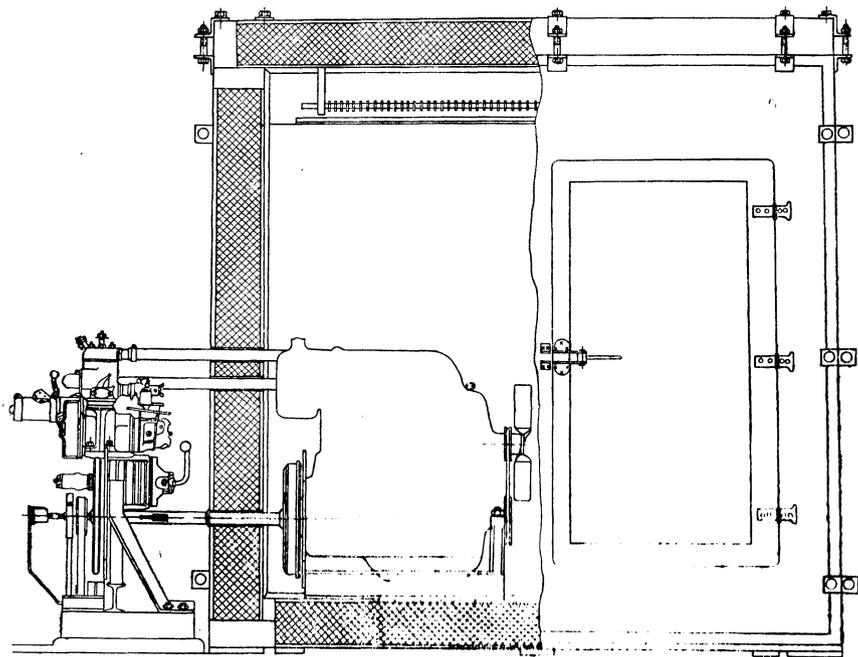


Рис. 1. Холодильная камера и размещение двигателя и пускового устройства (с пусковым двигателем).

лу оборотов стартера с учетом коэффициента полезного действия стартера и зубчатой передачи и передаточного отношения между ним и маховиком.

Этот метод требует кропотливого и трудоемкого вычисления и построения кривой крутящего момента по осциллограммам напряжения, силы тока и угловой скорости стартера, кроме того, он имеет еще один существенный недостаток. Коэффициент полезного действия стартера определяется путем тарирования его на установившихся режимах. Между тем в процессе пуска двигателя стартер работает в резко выраженном нестационарном режиме. Значе-

ния коэффициента полезного действия стартера в периоды разгона и торможения могут существенно отличаться от значений его при тех же угловых скоростях, но определенных в условиях стационарного режима. По этой причине точность определения крутящего момента этим методом невысокая.

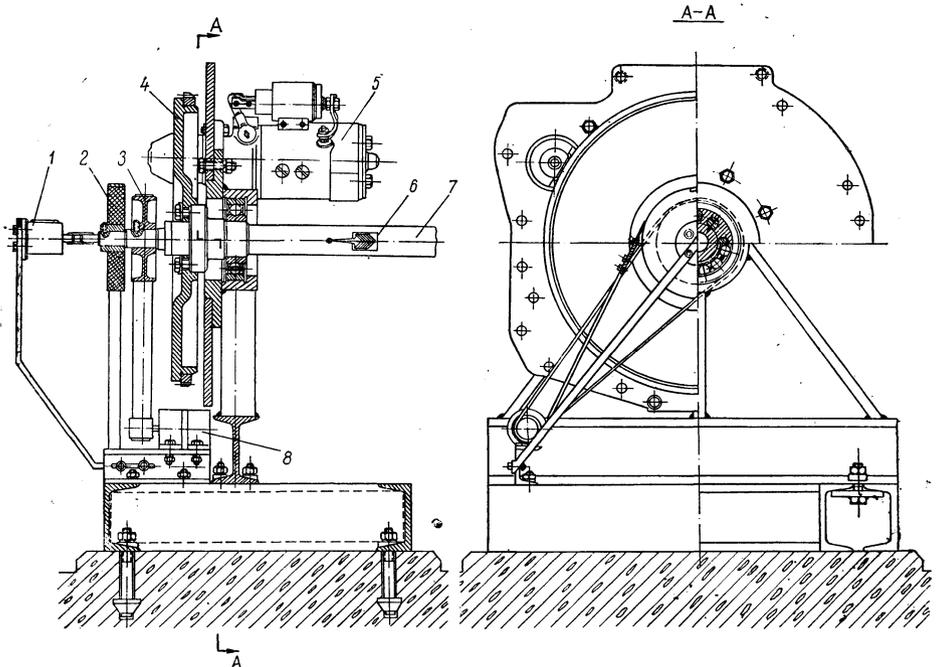


Рис. 2. Пусковое устройство (с электростартером):

1 — токосъемник; 2 — контактный диск ВМТ; 3 — шкив привода таходинамо; 4 — диск с зубчатым венцом; 5 — стартер; 6 — мост тензодатчиков; 7 — динамометрический вал; 8 — таходинамо.

Другой метод, пригодный для любого вида пускового устройства, основан на непосредственном измерении с помощью тензодатчиков усилия, передаваемого маховику. Для этой цели на задний конец коленчатого вала двигателя наращивается хвостовик, на который крепится маховик. В образовавшемся промежутке между маховиком и блоком цилиндров двигателя размещается диск с зубчатым венцом. Диск связан с маховиком при помощи упругих пальцев. На один из пальцев наклеиваются датчики, и он служит в качестве динамометра.

Существенными недостатками такого устройства являются сложность изготовления и монтажа на двигателе, а также ограниченность применения только для двигателей одного типа.

В описываемой установке пусковое устройство полностью отделено от двигателя (рис. 2) и соединено с ним полым валом 7, яв-

ляющимся одновременно и динамометрическим валом. Это позволило разместить пусковое устройство и основную часть датчиков измерительной аппаратуры вне холодильной камеры, что значительно упрощает управление установкой.

Опорой пускового устройства служит вертикальная треугольная рама, укрепляемая на четырехугольной фундаментальной раме. В вертикальной раме на шарикоподшипнике уложен приводной вал 7. Правый конец вала своими шлицами сцепляется с диском, укрепляемым на торце маховика испытуемого двигателя. На другом конце вала на фланце закреплен диск 4 с зубчатым венцом (диск изготовлен из маховика двигателя Д-50 путем проточки обода и диска). Стартер 5 закреплен на листе, представляющем заднюю опору двигателя. Лист в свою очередь укреплен на раме пускового устройства. На хвостовик вала насажен шкив 3 для привода таходинамо 8 и контактный диск 2 для нанесения на осциллограмму отметок верхней мертвой точки (ВМТ). Фольговые тензодатчики 6, наклеенные на вал 7, связаны с усилителем при помощи ртутного токосъемника 1.

Источником электрического тока служит стартерная батарея аккумуляторов, которая может устанавливаться как вне камеры, так и внутри нее с целью воспроизведения естественных условий пуска двигателя. Для прокрутки двигателя с разными угловыми скоростями в качестве источника тока предусматривается низковольтная динамо-машина постоянного тока типа АНД 1500/750.

Измерительная аппаратура и методы ее тарирования. На установке можно измерять крутящий момент, передаваемый валу двигателя, угловую скорость вала, электрическое напряжение на клеммах стартера, силу электрического тока в цепи стартера, давление в цилиндре двигателя, температуру воздуха в цилиндре во время сжатия и регистрировать вспышки топлива в цилиндрах и фазовые отметки.

Крутящий момент, как уже говорилось, измеряется при помощи динамометрического вала с тензодатчиками. При измерениях применяется тензостанция типа УТ4—1, работающая на несущей частоте 10 000 гц и обеспечивающая выходной ток до 100 ма.

Тарирование динамометра производится при помощи рычага, прикрепленного к диску с зубчатым венцом, и подвески с набором гирь. На время тарирования динамометра вал двигателя стопорится.

Угловую скорость часто измеряют путем нанесения на осциллограмму с помощью фотоэлектрического устройства отметок угла поворота вала через равные интервалы ($5 \cdot 10^\circ$) [4]. По этим отметкам и по масштабным отметкам времени вычисляются средние значения угловой скорости на каждом интервале и затем строится кривая изменения угловой скорости на протяжении всего опыта. Так как угловая скорость изменяется плавно, то при малой ве-

личине угловых интервалов ее среднее значение на протяжении интервала мало отличается от мгновенного значения в середине интервала. Поэтому полученная кривая достаточно приближенно выражает изменение угловой скорости вращения вала.

Недостатками этого метода следует считать большую трудность обработки осциллограммы, построения графика, а также необходимость записывать осциллограммы с большой скоростью, что связано со значительным расходом осциллографной бумаги.

Этих недостатков лишен метод измерения угловой скорости при помощи таходинамо, примененный в описываемой установке. Таходинамо с постоянной магнитной системой при малых величинах тока в цепи якоря развивает напряжение, строго пропорциональное числу ее оборотов.

Особенностью таходинамо постоянного тока являются небольшие колебания напряжения и соответственно силы тока, связанные с коммутацией тока при помощи пластинчатого коллектора. Однако эти колебания значительно отличаются по частоте от изменений угловой скорости вращения вала. Это позволяет подобрать надлежащий фильтр, не пропускающий их в цепь шлейфа осциллографа. С целью увеличения разности частот колебаний угловой скорости и силы тока, обусловленных коммутацией, целесообразно применять повышающую передачу между валом двигателя и таходинамо, что и осуществлено в описываемой установке.

Тарирование таходинамо производится непосредственно на самой установке путем проворачивания двигателя с декомпрессией. Угловая скорость при этом поддерживается постоянной, так как отсутствуют ее колебания, связанные со сжатием и расширением воздуха в цилиндрах. Значение этой постоянной скорости легко находится по отметкам ВМТ и масштабным отметкам времени.

Напряжение на клеммах стартера измеряется путем подключения к ним шлейфа осциллографа через соответствующим образом подобранное сопротивление (последнее должно иметь такую величину, чтобы при напряжении на клеммах 12 в сила тока в цепи шлейфа не превышала допустимой величины). При записи напряжения необходимо нанести на осциллограмму нулевую линию, с которой совпадает луч шлейфа при его выключении.

Масштаб записи напряжения находится по величине отклонения шлейфа (при включении его в батарею) и по напряжению батареи, измеренному с помощью вольтметра.

Сила тока в цепи стартера в начальный момент его включения может достигнуть 1000 а и более. Поэтому для измерения ее в цепь стартера включают шунт на 1000—1500 а, на котором наибольшее падение напряжения составляет 60 или 75 мв. К шунту присоединяется шлейф осциллографа (пятого или восьмого типа).

При определении масштаба осциллограммы необходимо располагать вспомогательным шунтом на значительно меньший предель-

ный ток (3 и 7,5 а). При тарировке такой шунт включают последовательно в цепь, питаемую от аккумулятора. В цепь включают также амперметр и реостат, позволяющий изменять силу тока в пределах до наибольшего ее значения для шунта. Задавая разные значения силы тока, записывают отклонения шлейфа, присоединенного к шунту. Полученный по этим записям масштаб (число ампер на миллиметр высоты осциллограммы) надо умножить на переходный множитель. Последний найдется как частное от деления величин силы тока, приходящихся на 1 мв падения напряжения на основном и вспомогательном шунтах.

Давление в цилиндре двигателя изменяется при помощи пьезоэлектрического индикатора с записью на шлейфовом осциллографе. Для этой цели применяется электрометрический усилитель постоянного тока типа УНЧ-10 конструкции ЦНИДИ. Усилитель обеспечивает ток на выходе до 100 ма и допускает статическую тарировку.

Местом установки датчика давления на двигателе Д-50 выбрано отверстие под свечу накаливания. Штуцер для присоединения датчика выполнен с сохранением внешней формы свечи накаливания, благодаря чему объем камеры сжатия цилиндра не изменяется.

Способы тарирования индикаторов давления общеизвестны [1].

Температура воздуха в цилиндре в период сжатия измеряется при помощи термометра сопротивления из тонкой проволоки. Как показали исследования [2], вольфрамовая проволока диаметром 0,01—0,02 мм обладает столь малой тепловой инерцией, что при измерениях температуры с частотой не выше 2 гц (частота повторения циклов в цилиндре при пуске двигателя) обусловленные ею погрешности практически отсутствуют.

Местом установки термометра является отверстие для форсунки. В соответствии с этим термометр внешне оформлен в виде форсунки.

Чувствительным элементом термометра сопротивления является вольфрамовая проволока диаметром 0,01 мм и длиной 10—12 мм. Проволока включается как часть одного плеча полумоста, составленного из двух проволочных датчиков сопротивления. Датчик, с которым последовательно соединяется проволока, выбирается с таким сопротивлением, чтобы общая величина сопротивления плеча равнялась сопротивлению второго датчика (второго плеча полумоста).

Термометр сопротивления работает с тензостанцией ТЛ-5. Тарирование термометра производится в нагревательной печи путем сравнения его показаний (отклонения луча шлейфа) с показаниями образцовой термометры.

Регистрацию расхода топлива в цилиндрах двигателя можно осуществить разными способами: при помощи инди-

катора давления (по повышению давления в цилиндре), ионизационным методом (основанным на ионизации газов пламенем) и при помощи безынерционного термометра (по повышению температуры выхлопных газов).

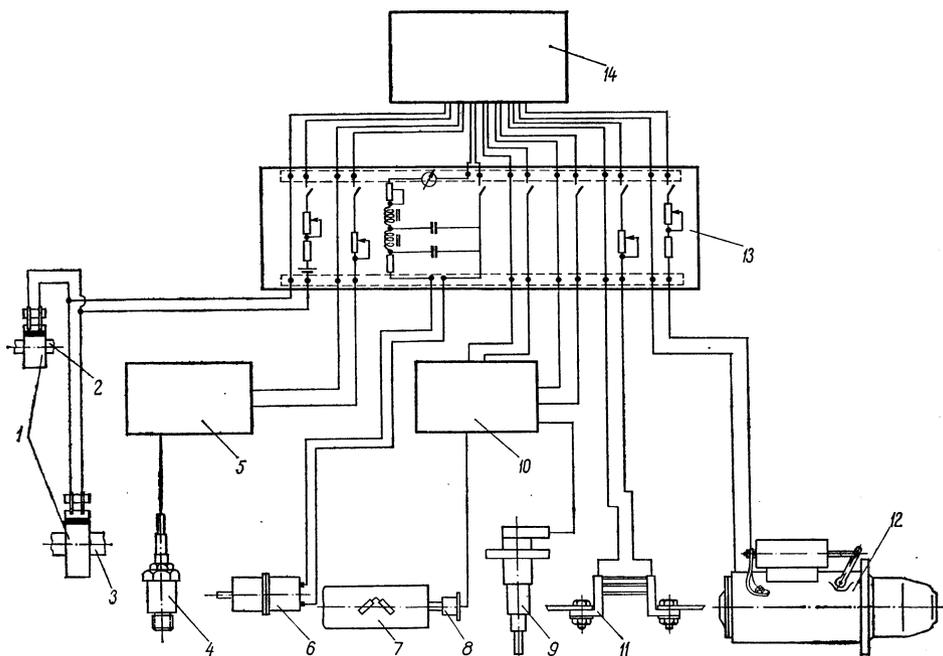


Рис. 3. Схема включения измерительной аппаратуры стенда:
1 — контактные диски фазовых отметок; 2 — кулачковый вал; 3 — коленчатый вал; 4 — пьезокварцевый датчик давления; 5 — усилитель пьезоэлектрического индикатора УНЧ-10; 6 — таходинамо; 7 — динамометрический вал; 8 — токосъемник; 9 — термометр сопротивления; 10 — тензостанция ТА-5; 11 — шунт; 12 — стартер; 13 — блок включения и регулирования измерительной аппаратуры; 14 — шлейфовый осциллограф Н-700.

Основные трудности применения первых двух способов связаны с необходимостью установки датчиков во все цилиндры двигателя. Поэтому в описываемой установке для обнаружения вспышек топлива производится запись температуры выхлопа при помощи термометра сопротивления, применяемого для измерения температуры воздуха в цилиндре при сжатии. Датчик устанавливается в такой точке выхлопного коллектора, где на него воздействуют выхлопные газы из всех цилиндров [3].

Фазовые отметки (отметки ВМТ) наносятся на осциллограмму для подсчета количества оборотов коленчатого вала, на протяжении которых осуществлен пуск, и для определения средней угловой скорости в различные периоды процесса пуска. Однако фазовые отметки за каждый оборот коленчатого вала четырехтакт-

ного двигателя не позволяют определить на осциллограмме порядок работы цилиндров. В частности, невозможно установить, к каким цилиндрам относятся первые вспышки топлива, зарегистрированные на осциллограмме. Для устранения этого недостатка одновременно с отметками через каждый оборот наносятся отметки через два оборота коленчатого вала.

Для нанесения фазовых отметок применяется простейшее устройство, состоящее из контактного диска из изоляционного материала и скользящих щеток. За каждый оборот диска контактная пластина на нем замыкает один раз цепь шлейфа. Диски насаживаются на коленчатый и кулачковый валы. Обе контактные системы включены параллельно.

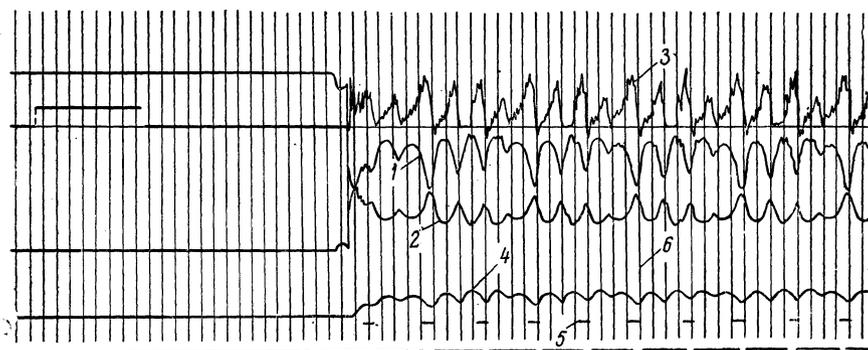


Рис. 4. Осциллограмма прокрутки двигателя электростартером с питанием от аккумуляторной батареи:

1 — напряжение на клеммах стартера; 2 — сила тока в цепи стартера; 3 — крутящий момент; 4 — число оборотов; 5 — отметки ВМТ; 6 — сигналы времени через 0,01 сек.

Осциллограф. Для регистрации показаний всех измерительных приборов применен шлейфовый осциллограф Н-700 с четырнадцатью каналами (шлейфами) записи на 120-миллиметровую осциллографную фотобумагу. При исследовании пуска достаточна скорость записи 40—50 мм/сек. При такой скорости, несмотря на малую яркость источника света осциллографа (лампа накаливания), обеспечивается четкая запись осциллограмм даже при сравнительно низкой чувствительности осциллографной бумаги.

Осциллограф Н-700 не имеет своего магазина сопротивлений и выключателей шлейфов. Поэтому для работы с ним изготовлен блок-приставка для регулировки и включения измерительной аппаратуры.

Общая схема включения всей измерительной аппаратуры представлена на рис. 3.

Испытание установки. В летнее время при температуре наружного воздуха 15—20°C температура в холодильной ка-

мере с установленным в ней двигателем доводилась до -24°C за 6 ч непрерывной работы холодильного агрегата.

На рис. 4. показан образец осциллограммы прокрутки двигателя электростартером, содержащей запись части измерительной аппаратуры.

Таким образом, созданная установка позволяет осуществлять исследование пусковых процессов тракторных двигателей с выполнением всех основных видов измерений в температурных условиях, соответствующих большинству климатических районов страны.

Л и т е р а т у р а

1. Волчок Л. Я. Методы измерений в двигателях внутреннего сгорания. М., 1955.
2. Волчок Л. Я. Тепловая инерция термометров сопротивления и термоанемометров. Тр. ЦНИДИ, вып. 36, 1958.
3. Волчок Л. Я. Измерение мгновений температуры выхлопных газов. Тр. Белорус. политехн. ин-та, 1959, № 72.
4. Назаров В. А., Сметнев Н. И. Пусковые процессы семейства перспективных дизелей. М., 1967.