

На правах рукописи

Трошко Илья Васильевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ПУТЕВОГО ИНСТРУМЕНТА С ОБЪЕМНЫМ ГИДРОПРИВОДОМ

Специальность 05.02.02. – Машиноведение, системы приводов и детали машин

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2009

Работа выполнена на кафедре «Путевые строительные машины и робототехнические комплексы» государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ).

Научный руководитель - доктор технических наук, доцент  
Гринчар Николай Григорьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Коваленко Николай Иванович  
кандидат технических наук  
Панин Игорь Александрович

Ведущая организация – ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ОАО «ВНИИЖТ)

Защита диссертации состоится «23» декабря 2009 г. в 15<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 218.005.01 в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ) по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова д. 9, стр. 9, аудитория 2505.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью организации, просим высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ).

Автореферат разослан «    » \_\_\_\_\_ 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., доцент

А.В. Саврухин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** С начала 1995 года началось внедрение ресурсосберегающих технологий на железных дорогах России комплексами современных высокоэффективных путевых машин. Однако, несмотря на регулярное пополнение путевого хозяйства этими машинами, повышение уровня механизации путевых работ, в большинстве случаев при подготовительных и вспомогательных работах широко используется механизированный путевой инструмент. В общем объеме указанных работ последние составляют около 20%, при этом на их выполнение отвлекается до 65% рабочих, занятых на текущем содержании и ремонте пути.

Создание высококачественных механизмов и приборов, способных выполнять работы на главных путях, не нарушая графика движения поездов, и с минимальным применением рабочей силы является актуальной проблемой.

Качество продукции определяется множеством показателей, характеризующих способность удовлетворять потребности в соответствии с назначением, при этом надежность играет решающую роль. Анализ отказов путевого инструмента показал, что её уровень на сегодняшний день не удовлетворяет требованиям производства.

В современных условиях актуальность проблемы повышения надежности механизированного путевого инструмента должна решаться в рамках комплексной системы управления качеством продукции, которая представляет собой совокупность мероприятий, методов и средств, направленных на установление, обеспечение и поддержания необходимого уровня качества инструмента при его разработке, изготовлении и эксплуатации. Оценка уровня качества – первый и основной этап системы управления качеством.

**Цель работы и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является повышение надежности путевого инструмента с гидравлическим объемным приводом. Идея работы заключается в разработке методов и средств проведения контрольных испытаний путевого инструмента с гидравлическим объемным приводом при серийном производстве и ремонте.

**Методы исследования.** Включают анализ источников научно-технической информации, постановку и проведение теоретических и экспериментальных исследований, базирующихся на применении основных положений теории вероятностей, математической статистики, гидравлики, теории планирования эксперимента и обработки результатов экспериментальных данных.

**Научная новизна.** В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Установлен характер распределений отказов путевого инструмента в течение рабочего сезона.
2. Разработана методика определения полного и объемного КПД для гидравлического путевого инструмента.
3. Дано обоснование необходимости испытаний гидравлического путевого инструмента, при изменяющейся нагрузке.

**Практическая ценность работы.** В диссертации получены следующие результаты, характеризующие практическую ценность работы:

1. Определены количественные показатели надежности инструмента, по которым принимаются решения о пригодности всей партии к эксплуатации при условии однородности.
2. Разработаны конструкции стандов с переменной нагрузкой на рабочий орган путевого инструмента.
3. Разработаны методики эксплуатационных и стандовых испытаний путевого инструмента с объемным гидравлическим приводом.

**Реализация и внедрение результатов работы.** Результаты работы использованы при создании методик эксплуатационных и лабораторных испытаний путевого инструмента с гидравлическим объемным приводом; при создании экспериментального образца испытательного станда; а также при организации учебного процесса студентов специальностей 190205 «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины», 220402 «Роботы и робототехнические комплексы»

**Апробация работы.** Основные результаты были доложены на заседании кафедры «Путевые строительные машины и робототехнические комплексы» МИИТа, на 3-ей научно-практической конференции «ПУТЕВЫЕ МАШИНЫ» г. Калуга 15-16 сентября 2005г., на шестой и седьмой Научно-практических конференциях «Безопасность движения поездов», Москва, МИИТ, 2005 г.-2006г.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 12 печатных работ, из них 4 работы в журналах, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы из 50 наименований. Основная часть работы изложена на 201 страницах машинописного текста, содержит 82 рисунка, 27 таблиц, приложение.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первая глава.** В первой главе рассматриваются основные конструкции путевого инструмента с объемным гидроприводом и его эксплуатационная надежность.

Механизация в путевом хозяйстве развивается с учетом внедрения новых ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих длительную стабильность пути. Однако на сегодняшний день ряд путевых работ по текущему содержанию выполняется с помощью ручного механизированного инструмента. В настоящее время на железных дорогах используется более двух десятков различных конструкций путевого инструмента с объемным гидроприводом как отечественного, так и зарубежного производства.

Эксплуатация путевого инструмента с объемным гидроприводом в условиях действующего пути предъявляет высокие требования к эффективности, надежности и безопасности.

Предприятия - изготовители повышают качество, а эффективность проводимых мероприятий может быть оценена только в результате всесторонних испытаний, включая испытания на надёжность, и в частности на ресурс. На за-

водах - изготовителях обычно выполняется настройка инструмента, проверка работоспособности и прочности при максимальных нагрузках. Полномасштабные испытания в соответствии с ГОСТ 27.410-87 практически никогда не проводятся и отсутствует оборудование для их проведения. Достоверность результатов зависит от того, насколько режим нагружения на стенде моделирует реальные условия эксплуатации.

Для первичного анализа характера и структуры отказов инструмента с объемным гидроприводом были использованы данные наблюдений по Московско-Ярославской дистанции пути и Астраханской дистанции пути (рис. 1). Из распределения отказов по месяцам видно, что они имеют заметно выраженный сезонный характер, что связано, очевидно, с интенсивной эксплуатацией гидроинструмента в летние месяцы. Уровень надежности инструмента, таким образом, не удовлетворяет требованиям эксплуатации, основным из которых является требование о безотказной работе нового и капитально отремонтированного инструмента в течение всего сезона (примерно 2000-4000 рабочих циклов для домкратов и рихтовщиков, около 1000-2000 рабочих циклов для разгонщиков).

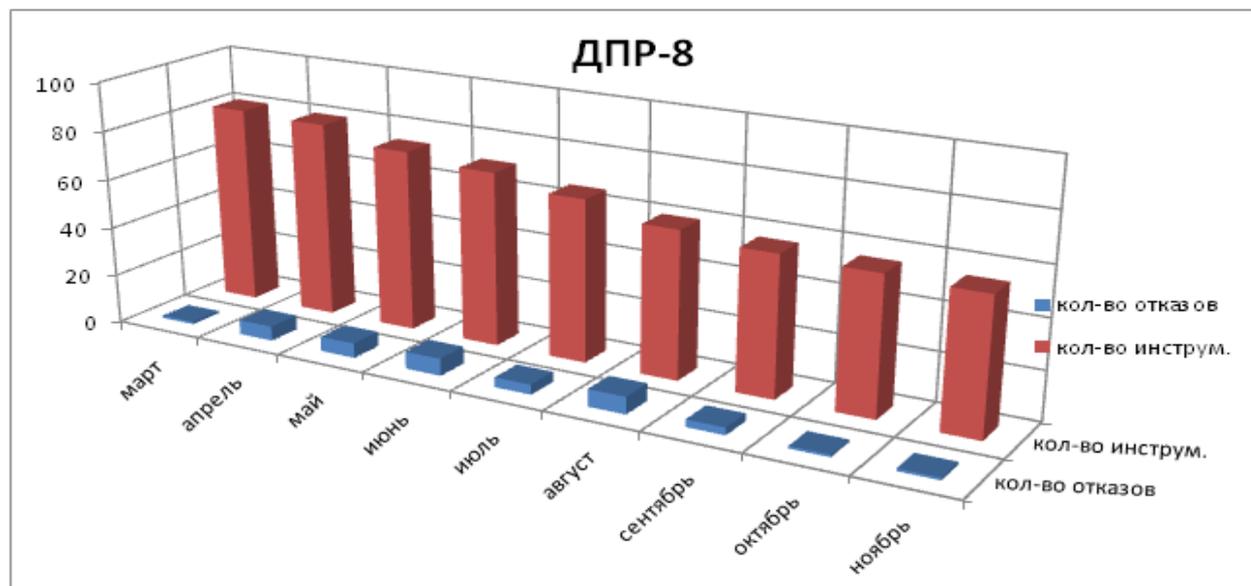


Рис. 1. Диаграмма распределения отказов гидравлического домкрата ДПР-8 (Московско-Ярославской дистанции пути)

Основными направлениями совершенствования путевого гидроинструмента должны быть совершенствование конструкции и повышение долговечности гидравлических узлов инструмента.

Изучение теории и опыта эксплуатации путевого инструмента с гидравлическим объёмным приводом позволяет сделать несколько выводов:

- существующая система контроля качества гидравлического путевого инструмента не позволяет получить необходимый результат в области управления процессом обеспечения надёжности;
- развитие процессов механизации текущего содержания и дорожных работ на железнодорожном транспорте требует повышения надёжности путевого инструмента с гидравлическим объёмным приводом;

- место и роль испытаний при изготовлении инструмента на заводах-производителях до настоящего времени практически не исследованы, рекомендации отдельных авторов сводятся по существу к пожеланиям организации такого рода испытаний.

Наиболее эффективным инструментом решения данного комплекса задач является системный анализ, иначе говоря, тщательное рассмотрение их взаимосвязей, как между собой, так и со смежными факторами, влияющими на надёжность путевого инструмента с гидравлическим объёмным приводом и способами воздействия на эти факторы. Необходимо создание единой комплексной системы контроля качества инструмента, включающей как технические средства, так и технологию работ, а также методические указания по принятию управленческих решений в рассматриваемой области.

Таким образом, идея настоящей работы заключается в разработке методов и средств воздействия на эксплуатационную надёжность путевого инструмента с гидравлическим объёмным приводом, оценки параметров его состояния путем организации контрольных испытаний на качество на специализированных стендах.

Так как домкраты составляют более 50% от общего количества инструмента с гидравлическим объёмным приводом то основное внимание в работе уделено этому оборудованию.

**Вторая глава.** Во второй главе рассматриваются теоретические вопросы, связанные с организацией испытаний инструмента с гидравлическим объёмным приводом на надёжность. Повышение надёжности домкратов до желаемого уровня (отработка в течение сезона без ремонта) возможно за счет внедрения ряда технических, технологических и организационных решений, мероприятий и процедур, важнейшей из которых являются сертификационные испытания, проводимые независимым (от изготовителя) сертификационным центром. Общие положения по испытаниям регламентированы ГОСТ 15.309-98 «Испытания и приемка выпускаемой продукции». Практический опыт показывает, что одним из решающих факторов в обеспечении качества гидроагрегатов является организация контроля качества. Заключительным и наиболее ответственным этапом всего технологического процесса является приемочный контроль. При этом проверяются все основные показатели и по результатам испытаний выносятся суждения о качестве изделий и принимается решение о пригодности их к эксплуатации. Оценки, полученные на этапе проектирования и создания опытного образца, учитываются лишь в той мере, в какой они свидетельствуют об отсутствии потенциально ненадежных элементов. Поэтому главным источником информации о надёжности на стадии выпуска серийной продукции являются испытания, проводимые по определенным планам. Для оценки эффективности планов контрольных испытаний служит оперативная (рабочая) характеристика, под которой понимается функция  $L(q)$  равная вероятности принятия партии с уровнем дефектности  $q$ .

На рис. 2, а показана оперативная характеристика сплошного контроля, которая является идеальной, т.к. в этом случае точно известно значение кон-

тролируемого параметра каждого изделия, если оно меньше некоторого критического ( $q_{кр}$ ), то партия будет принята с вероятностью равной 1.

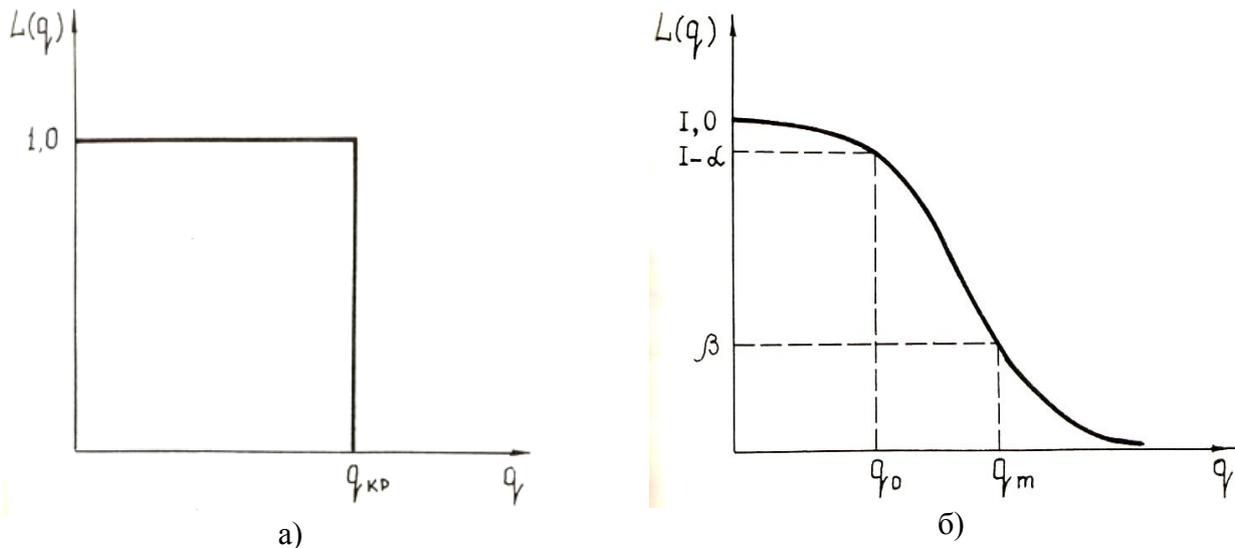


Рис. 2 Оперативные характеристики контроля:

а)- сплошного контроля; б - статистического контроля

Сплошной контроль может быть рекомендован в случае, когда партия инструмента невелика (т.е. такая, что существующие средства контроля качества способны охватить её целиком в период до поступления новой партии). Периодичность контрольных испытаний на надежность при серийном выпуске устанавливаются в зависимости от контролируемых показателей и числа выпускаемых изделий, с учетом возможности завершения предыдущего цикла испытаний к началу очередного цикла и необходимого резерва времени для технического обслуживания и ремонта испытательного оборудования.

При выборочном статистическом контроле – рис. 2, б - поставщик и потребитель договариваются о двух уровнях дефектности  $q_0$  и  $q_m$ , партии с  $q \leq q_0$  считаются хорошими, а с  $q \geq q_m$  плохими, интервал  $q_0 < q < q_m$  является зоной неопределенности, а партии с таким уровнем дефектности считаются допустимыми.

Величина  $q_0$  называется приемочным уровнем дефектности (ПРУД), а  $q_m$  - браковочным уровнем дефектности (БРУД). В соответствии с этим, партии с уровнем дефектности ниже  $q_0$  должны по возможности приниматься или вероятность принятий такой партии должна быть не меньше величины  $(1 - \alpha)$ , а партии с  $q \geq q_m$  - бракуются а вероятность их приемки не должна превышать величины  $\beta$ .

Тогда для любого плана приемочного контроля справедливы уравнения

$$L(q_0) \geq 1 - \alpha; L(q_m) \leq \beta \quad (1)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  - соответственно риски поставщика и потребителя.

Параметры плана (1) являются основой для задания плана приемочного контроля, т.е. назначения объема выборки и нормативов, с которыми сравниваются результаты контроля и вычисления оперативной характеристики.

По принципу классификации результатов испытаний различают контроль по альтернативному и количественному признаку. Все существующие планы контроля по количественному признаку предполагают нормальное распределе-

ние контролируемого параметра. При невыполнении этого условия рассматриваемые планы можно применять только после оценки получаемой при этом погрешности (хотя нормальное распределение и является предельным).

Нормальное распределение имеет вид

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\left(\frac{x-\mu}{\sigma \cdot \sqrt{2}}\right)^2} \quad (2)$$

где  $\mu$  и  $\sigma$  - соответственно математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение случайной величины  $x$ .

Если известно, что во всех партиях среднее квадратическое отклонение одинаково, то качество партии зависит от среднего арифметического, и тогда для одностороннего нижнего допуска большая величина среднего арифметического будет соответствовать хорошему качеству, т.е. чем больше  $\mu$ , тем меньше доля дефектных изделий в партии. Если требования к плану контроля сформулированы в виде  $q_0, q_m, \alpha, \beta$ , то имеют место следующие уравнения

$$1-\alpha = \Phi\left(\frac{C-\mu_0}{\sigma} \cdot \sqrt{n}\right); \beta = \Phi\left(\frac{C-\mu_m}{\sigma} \cdot \sqrt{n}\right) \quad (3)$$

где  $C$  - приемочное число;

$\mu_0$  и  $\mu_m$  - математическое ожидание контролируемого параметра, соответствующее приемочному и браковочному уровням дефектности;

$\Phi(X)$  - табулированная функция нормированного нормального распределения.

Уравнения (3) являются основой для выбора параметров плана  $n$  и  $C$ .

Планы контроля качества партий при неизвестном среднеквадратическом отклонении обеспечивают приемку таких партий, уровень дефектности которых оказывается ниже некоторой, заранее установленной величины.

Математическое условие правила приемки партии

$$\frac{T - \bar{X}}{S} \geq C \quad (4)$$

где  $T$  - допуск на контролируемый параметр;

$\bar{X}, S$  - выборочные характеристики контролируемого параметра;

$$C = q_i - q_c, q_0 \leq q_c \leq q_m$$

При этом

$$p\left(\frac{T - \bar{X}}{S} \geq C\right) = p\{\bar{X} + C \cdot S < T\} \quad (5)$$

Выборочная функция  $z = \bar{X} + C \cdot S$  из (5) имеет нормальное распределение с математическим ожиданием и дисперсией

$$\mu_z = \mu + \frac{C \cdot \sigma}{K_H}; \sigma_z^2 = \frac{\sigma^2}{n} + \frac{C^2 \cdot \sigma^2}{2 \cdot n - 1,4} \quad (6)$$

где  $K_H$  - коэффициент, зависящий от объема выборки;  $n$  - объем выборки. Оперативная характеристика будет иметь вид

$$L(q) = \Phi \left( \frac{T - \mu - \frac{C \cdot \sigma}{K_H}}{\sigma \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{C^2}{2 \cdot n - 1,4}}} \right) = \Phi \left( \frac{U_{1-q_c} - \frac{C \cdot \sigma}{K_H}}{\sigma \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{C^2}{2 \cdot n - 1,4}}} \right) \quad (7)$$

Характерная особенность уравнения (7) заключается в том, что в него не входят значения генеральных характеристик  $\mu$  и  $\sigma$ .

Если заданы  $q_0$ ,  $q_m$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ , то система уравнений для определения объема выборки и приемочного числа будет следующая

$$1 - \alpha = \Phi \left( \frac{U_{1-q_0} - \frac{C}{K_H}}{\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{C^2}{2 \cdot n - 1,4}}} \right); \quad \beta = \Phi \left( \frac{U_{1-q_m} - \frac{C}{K_H}}{\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{C^2}{2 \cdot n - 1,4}}} \right) \quad (8)$$

где  $U_{1-q_0}$  и  $U_{1-q_m}$  - квантили нормального распределения, соответствующие вероятностям  $1 - q_0$  и  $1 - q_m$ .

Контроль по альтернативному признаку обладает рядом преимуществ: он проще как по объему вычислений, так и по организации его на производстве, методика контроля не зависит от вида распределения измерительных параметров и поэтому является более универсальным, тогда как в большинстве случаев при контроле по количественному признаку, предполагается, что параметры имеют нормальное распределение. Однако следует отметить, что при контроле по альтернативному признаку используется только часть полученной информации, что приводит к необходимости большего числа измерений.

После того, как определена модель распределения наработки на отказ и установлены ее параметры, возникает задача выбора партии гидравлического путевого инструмента, при помощи которой будет приниматься решение.

Для получения необходимой информации обследовались домкраты, не подвергавшиеся ремонту, после которого однородность партии может быть нарушена. Партия рассматривалась состоящей из нескольких подгрупп, каждая из которых с большой степенью вероятности может считаться однородной. За такие подгруппы у серийных моделей домкратов можно принять изделия, выпущенные в течение суток. Критические значения  $D_{кр}$  табулированы и составляют для уровня значимости  $\alpha = 0,05$  и объема партии в 17 подгрупп  $D_{кр} = 1,60$ .

Сравнивая результаты с критическим значением  $D_{кр}$  (значения  $D_i > D_{кр}$  подчеркнуты) можно констатировать, что подгруппы, расположенные правее критического значения  $D_{кр}$  можно объединить в однородные партии.

Чтобы определить размер партии воспользуемся методом интервального оценивания. Математическое ожидание размера партии будет составлять

$$M\{N\} = \frac{\sum N_i}{n} \quad (9)$$

где  $n$  - количество партий;

$N_i$  - величина  $i$ -ой однородной партии.

Так как дисперсия генеральной совокупности, необходимая для определения параметров выборочного распределения, неизвестна, то для оценки вы-

борочного среднего значения величины однородной партии воспользуемся  $t$ -статистикой Стьюдента с числом степеней свободы  $\nu = n - 1$ :

$$t = \frac{M\{N\} - \mu}{S \cdot \sqrt{n}} \quad (10)$$

где  $\mu$  - математическое ожидание генеральной совокупности;

$S$  - среднее квадратическое отклонение.

Расчеты показывают, что за однородную, с большой степенью вероятности, можно считать партию, выпущенную в течение 10 дней. Внутри такой партии все изделия имеют примерно одинаковую среднюю наработку на отказ, что позволяет значительно упростить всю процедуру проверки состояния надежности.

Согласно одной из центральных предельных теорем математической статистики, теоремы Ляпунова, распределение суммы, а, следовательно, и среднего  $n$  независимых случайных величин стремится к нормальному закону при  $n \rightarrow \infty$ , если значения этих величин малы по сравнению с их суммой. При этом на законы распределения случайных величин не накладывается никаких условий. Кроме того, если численные признаки у единиц совокупности не имеют ярко выраженных «пиков» и «провалов» то нормальность распределения среднего обеспечивается уже при небольших объемах выборки ( $n = 5$ ). Указанные обстоятельства в полной мере характерны для путевого инструмента с гидравлическим приводом, что позволяет применять нормальный закон распределения, параметры которого могут быть получены в ходе обработки статистической информации.

Для анализа однородности партий было обследовано 48 домкратов типа ДГ15 и 45 домкратов типа ДПГ10, имеющих различные сроки выпуска (в целях исключения однородных партий), при этом выбирался инструмент, у которого за период обследования произошло не менее 10 отказов. Оценка максимального правдоподобия для средней наработки на отказ при экспоненциальном законе распределения времени между отказами определяется из выражения

$$T = \frac{\sum_{i=1}^r t_i}{r} \quad (11)$$

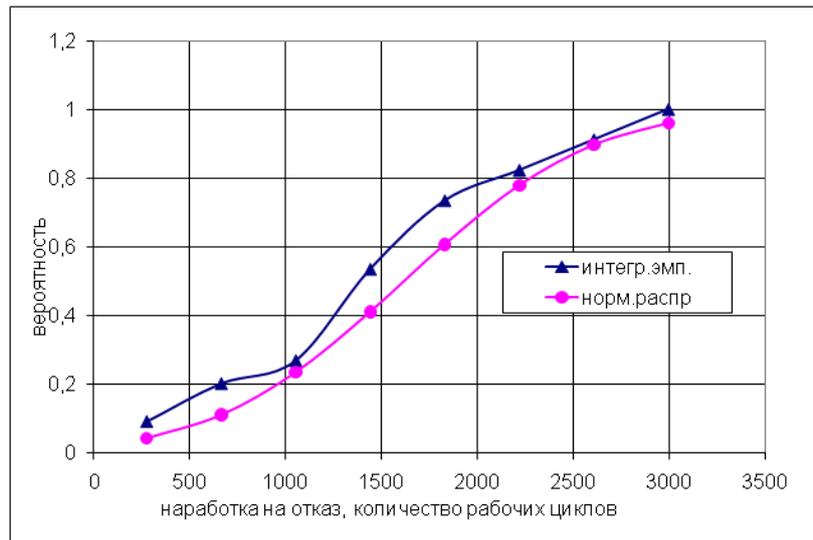
где  $\sum t_i$  - общая наработка домкрата за время исследования;

$r$  - количество отказов, зафиксированное за наработку.

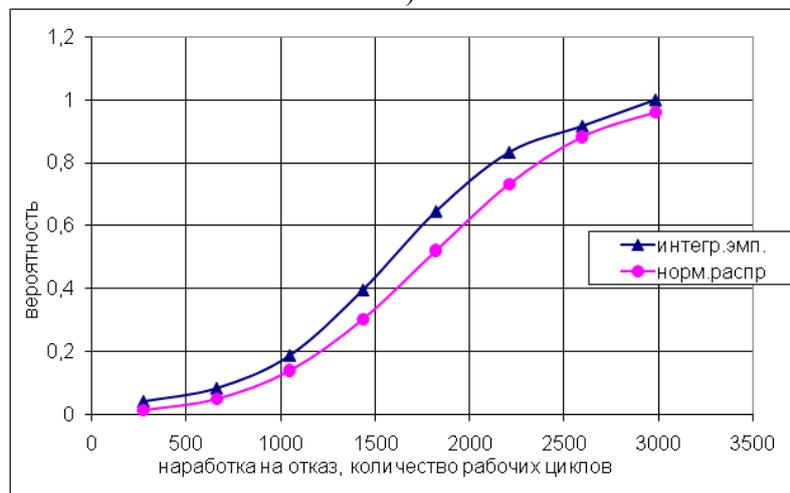
Степень соответствия эмпирических и статистических кривых проверялась по критерию Пирсона. Расчеты показали, что наибольшее значение критерия Пирсона соответствует нормальному закону распределения. На рис. 3 показана эмпирическая и статистическая кривые для домкратов ДГ-15 и ДПГ-10, полученные с помощью программ. Для домкратов ДГ-15 имеем: математическое ожидание - 1788 циклов; среднее квадратическое отклонение - 680 циклов. Для домкратов ДПГ-10 - математическое ожидание - 1616 циклов; среднее квадратическое отклонение - 779 циклов.

При случайном отборе из нормальной генеральной совокупности с дисперсией  $\sigma^2$  имеем

$$M\{S^2\} = \sigma^2 \quad (12)$$



а)



б)

Рис. 3. Кривая средней наработки на отказ для домкратов: а - ДПГ-10; б - ДГ-15

Для получения доверительных пределов параметра  $\sigma^2$  используется распределение  $\chi^2$  с числом степеней свободы  $\nu = n - 1 = 45$  ( $n$  - объем выборки), которому подчиняется случайная величина  $\chi^2 = \nu \cdot S^2 / \sigma^2$ . Для дальнейших расчетов воспользуемся односторонним верхним пределом, который находится из выражения

$$\sigma_B^2 = (n - 1) \cdot S^2 / \chi_{1-p; n-1}^2 \quad (13)$$

где  $p$  - величина доверительной вероятности.

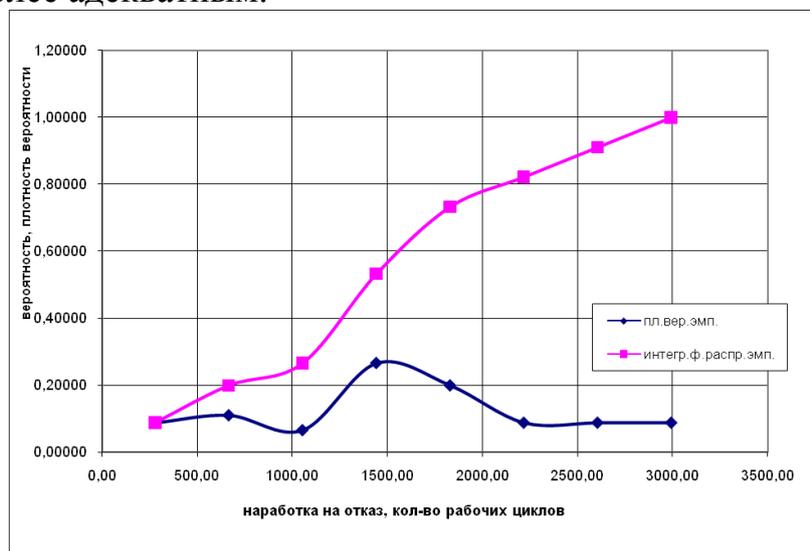
Расчеты показывают, что для домкратов ДГ-15 в рассматриваемой выборке имеем  $\sigma = 820$  циклов, а для домкратов ДПГ-10  $\sigma = 946$  циклов. Ошибка при этом не превышает 1%.

Основой для определения показателей надежности объемного гидропривода путевого инструмента являются данные из сферы эксплуатации и результаты, полученные в ходе анализа компьютерных моделей.

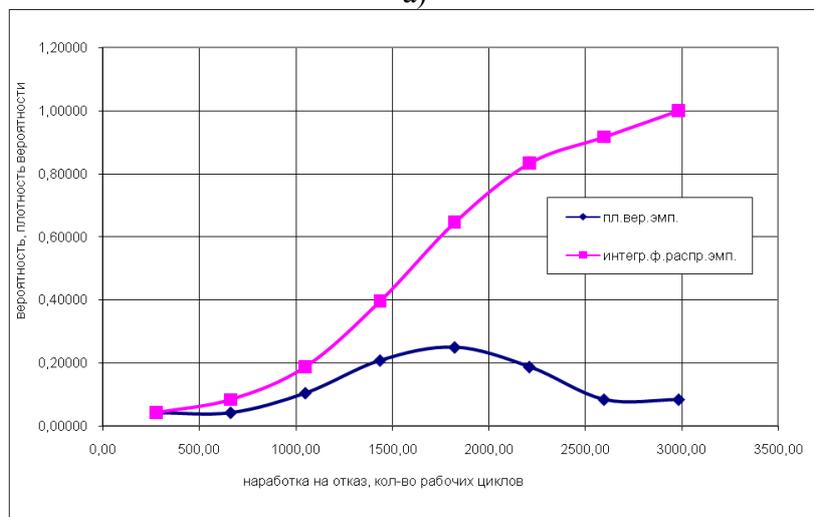
В ходе исследования анализировали материалы для двух наиболее распространенных типов домкратов ДПГ-10 и ДГ-15. Обработка проводилась стандартными методами в среде EXCEL.

Зависимости, характеризующие плотность вероятности безотказной работы и интегральную функцию распределения, представлены на рис. 4, а, б.

Анализ полученных зависимостей показывает, что согласно критерию Пирсона, нормальный закон распределения наилучшим образом описывает процессы изменения надежности гидравлического объемного привода путевого инструмента в процессе эксплуатации. По-видимому, это объясняется тем, что на надежность инструмента влияет большое количество разнообразных по своему происхождению и неравнозначных по степени влияния эксплуатационных факторов. Как известно, в подобных случаях нормальный закон распределения является наиболее адекватным.



а)



б)

Рис. 4. Вероятность и плотность вероятности безотказной работы гидравлических домкратов: а - ДПГ-10; б - ДГ-15

Анализ графиков показывает также, что в промежутки между наработкой в 1000 циклов и 2000 циклов (в среднем 1500 циклов) вероятность отказа начинает приближаться к единице (превышает значение 0,8). Это говорит о том, что при достижении наработки 1500...2000 циклов, домкраты указанных типов целесообразно подвергать освидетельствованию. С другой стороны, указанные данные по наработке говорят о том, что при не слишком большой интенсивности работ за сезон, домкраты могут отработать его целиком без проведения ремонтных мероприятий.

Согласно ГОСТ 27.410-87 план контроля испытаний должен содержать определенное число испытываемых образцов, При контроле надежности восстанавливаемых изделий объем выборки (число испытываемых образцов) равен необходимому числу наблюдений. Для восстанавливаемых изделий объем выборки может быть уменьшен (до одного образца), если независимость наблюдений обеспечена к началу очередного наблюдения. При жестких ограничениях по времени целесообразно пользоваться одноступенчатым методом контроля. Там же определяется, что параметры плана контроля при нормальном распределении должны соответствовать в зависимости от браковочного и приемочного уровней и рисков поставщика и потребителя.

Для контроля организуются независимых наблюдений, продолжительность каждого из которых равна наработке, для которой задана вероятность безотказной работы, и в каждом наблюдении фиксируют результат: наличие или отсутствие отказа. После  $i$ -го наблюдения принимают решение о соответствии безотказности заданным требованиям, если число отказов не больше приемочного числа. Решение о несоответствии принимают в случае, если число отказов больше приемочного числа.

При нормальном распределении задаваясь продолжительностью испытаний  $T_\alpha < t_{и} \leq t_\Sigma$  и при условии, что отказавшие изделия не заменяются и не восстанавливаются в ходе контрольных испытаний, требуемый объем выборки определяется по формуле:

$$N = t_\Sigma \cdot \left( \frac{1}{t_{и}} + \frac{1}{T_\alpha} \right) \quad (14)$$

где  $N$  - объем выборки;

$t_\Sigma$  - требуемая суммарная наработка;

$t_{и}$  - время испытания одного изделия;

$T_\alpha$  - приемочное значение контролируемого показателя.

Из формулы (14) следует, что объем выборки не может быть менее 2-х штук для каждой партии инструмента, так как в предельном случае  $T_\alpha = t_{и} = t_\Sigma$ .

Из практического опыта организации испытаний известно, что значения параметра  $T_\alpha$  лежат в диапазоне 100...500 циклов;  $t_\Sigma$  – 1000...4000 циклов;  $t_{и}$  – 100..500 циклов. При этом, согласно ГОСТ 27.410-87 должно соблюдаться условие  $T_\alpha < t_{и} \leq t_\Sigma$ .

Таким образом, приняв параметр  $t_\Sigma$  за аргумент можно получить зависимости типа  $N = f(t_\Sigma)$  при различных сочетаниях значений  $t_{и}$  и  $T_\alpha$ . Некоторые из них представлены на рис. 5.

**Третья глава.** В третьей главе рассматриваются основы создания стендов для испытания путевого инструмента с объемным гидроприводом.

Очевидно, что организация испытаний путевого инструмента с объемным гидроприводом по определенному плану требует соответствующего инструментального обеспечения. Испытания могут быть организованы как непосредственно в эксплуатационных условиях (на железнодорожных путях), так и в лабораторных или заводских. Испытательные стенды, оснащенные всеми необхо-

димыми устройствами, в первую очередь датчиками контроля нагрузки и перемещения, а также устройствами для компьютерной записи параметров процесса, позволяют избежать, в основном, влияния разного рода субъективных факторов и получить «чистую» оценку состояния объектов. Стенды позволяют получить режим нагружения, моделирующий реальные условия эксплуатации.

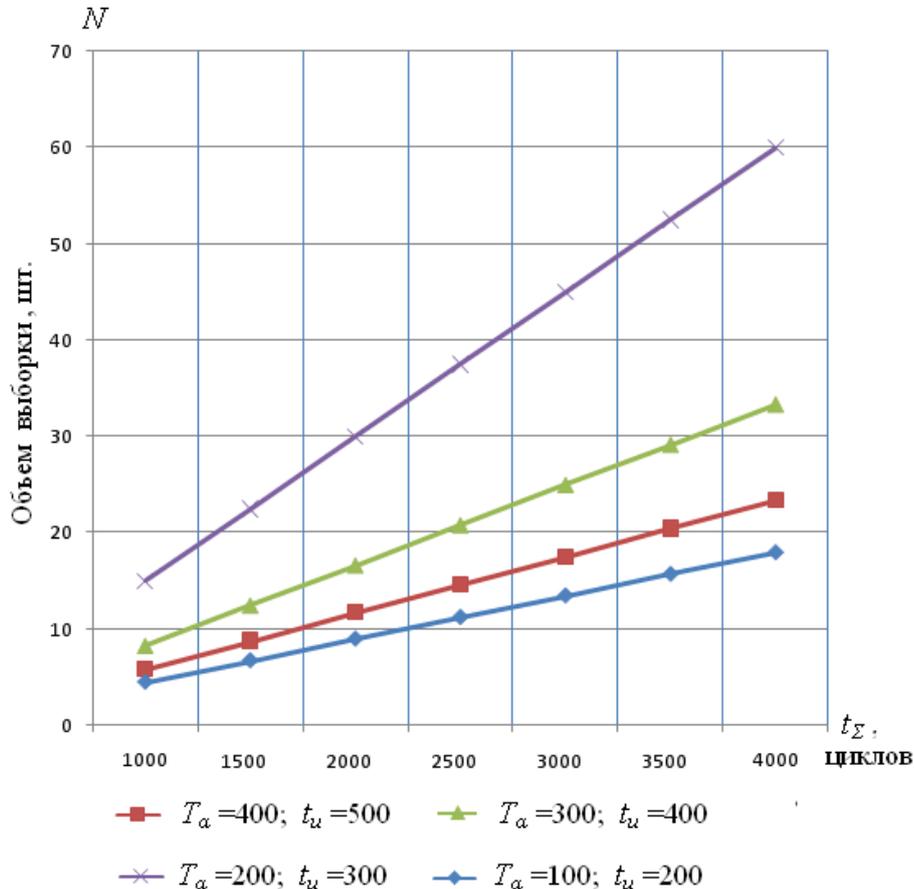


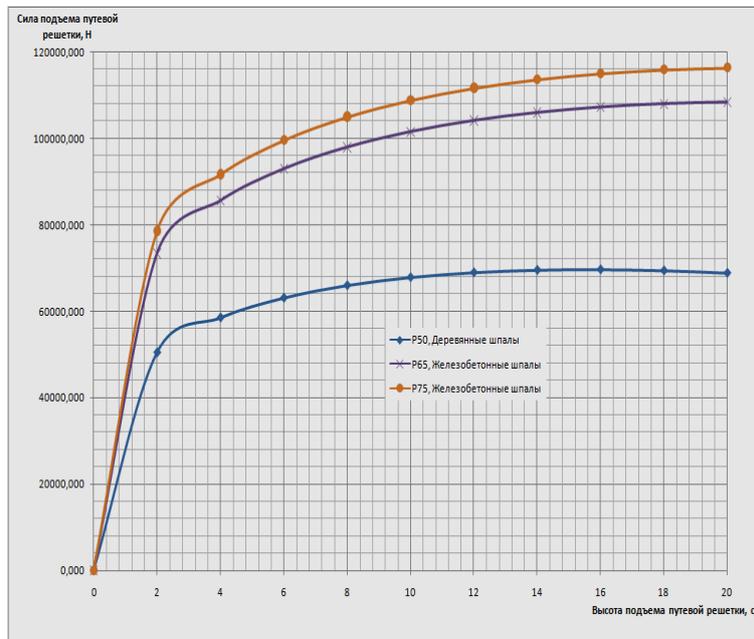
Рис. 5. Зависимость объема выборки от параметров плана испытаний инструмента (при нормальном законе распределения)

Важнейшим условием успешного проведения испытаний и получения адекватной состоянию инструмента оценки является проблема создания нагрузки на рабочий элемент (гидроцилиндр) инструмента. Принципиально возможны следующие варианты:

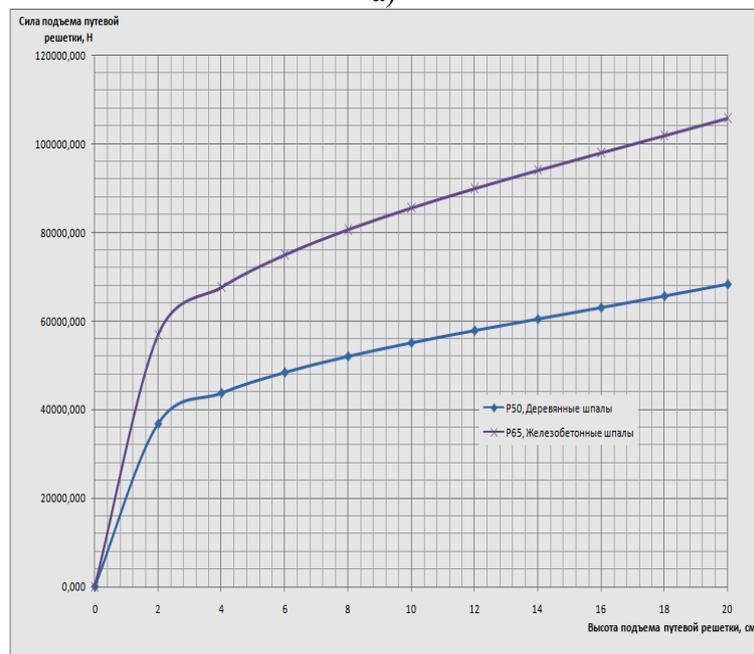
- нагрузка на гидроцилиндр инструмента статическая (т.е. не изменяется в процессе испытаний, независимо от величины хода штока);
- нагрузка на гидроцилиндр инструмента изменяется в процессе испытаний, линейно и пропорционально величине хода штока;
- нагрузка на гидроцилиндр инструмента изменяется нелинейно в зависимости от величины хода штока.

Использование двух последних решений позволяет воссоздать реальные ситуации, возникающие при подъеме рельсошпальной решетки и соответственно получить наиболее точную и адекватную оценку состояния инструмента.

Характер изменения нагрузки представлен на рис. 6 а, б.



а)



б)

Рис. 6. Зависимости изменения усилия на лапе домкрата от хода поршня:

а) - на стыковом пути; б) - на бесстыковом пути

Уровень нагрузки должен соответствовать как реальным нагрузкам, возникающим при работе инструмента с рельсошпальной решеткой, так и значениям указанным в паспорте инструмента (в частности при проведении сертификационных испытаний).

Нагрузка на исполнительный шток гидроцилиндров домкратов, рихтовщиков, разгонщиков и пр. может задаваться с помощью механических нагружателей. Механические устройства (на основе пружинных механизмов) наиболее просты и их применение целесообразно на стендах с линейным изменением нагрузки. Таким образом, для успешного решения задачи по созданию стендов для испытания путевого инструмента с объёмным гидравлическим приводом, необходимо:

- -изучить характер изменения нагрузки при работе инструмента с рельсошпальной решеткой;
- -разработать соответствующие принятой концепции конструктивные решения;
- -разработать методику оценки состояния объекта по результатам испытаний.

При стендовых и эксплуатационных испытаниях гидравлического инструмента обычно определяют соответствие фактических характеристик указанным в паспорте агрегата и этим ограничиваются. Для проведения ресурсных испытаний гидравлического инструмента автором создан комплекс стендов для проверки работоспособности и проведения ресурсных испытаний путевого гидравлического инструмента. Общий вид представлен на рис. 7.



а)



б)



в)

Рис. 7. Комплекс стендов для испытаний путевого инструмента

а – Испытания разгонщиков; б – Испытания домкратов; в – Испытания рихтовщиков.

Каждый стенд имеет свой технический паспорт и аттестат, зарегистрированный в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метроло-

гии ФГУ РОСТЕСТ-МОСКВА, а так же программу и методику аттестации утверждённую Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД»

Испытания каждого типа инструмента и их разновидностей проводились в нескольких типовых режимах, с таким расчетом, чтобы максимально соответствовать реальным ситуациям, возникающим при работе с путевым инструментом, имеющим объемный гидропривод, на железных дорогах.

1. Режим «нормальной» работы. Время подъема составляет на высоту 50 мм примерно 1 мин., что соответствует реальной эксплуатационной практике и принятым нормативам.
2. Режим ускоренного подъема. Время подъема составляет на высоту 50 мм примерно 30-35 секунд. На практике данный режим встречается относительно редко – только в ситуациях, близких к чрезвычайным, когда требуется ускоренное выполнение работ.
3. Режим, имитирующий объемные потери рабочей жидкости (утечки) во внешнюю среду, из-за потери герметичности уплотнительных соединений инструмента.
4. Режим имитации работы инструмента со сниженным объемным КПД без учета потерь во внешнюю среду. Необходимо отметить, что указанная ситуация весьма часто встречается на практике.
5. Режим проверки устойчивости предохранительного клапана. Предназначен для оценки состояния клапанового узла инструмента.

Некоторые результаты испытаний представлены на рис.8 а, б, в.

Анализ результатов испытаний позволяет заключить что:

- линейное возрастание нагрузки на плунжер домкрата при подъеме обуславливает линейный характер изменения давления в гидросистеме домкрата. Данное обстоятельство позволяет наиболее простым и удобным образом анализировать техническое состояние домкрата без его разборки;
- задержка подъема в начальный период (первые 5...10 секунд) не оказывает решающего влияния на рабочий процесс, но, тем не менее, приводит к некоторому увеличению продолжительности рабочего цикла;
- хотя изделия, прошедшие текущий ремонт (замена уплотнителей, при необходимости замена прецизионных пар и пр.) обладают несколько худшими характеристиками по сравнению с новыми, но тем не менее они могут успешно использоваться на соответствующих работах;
- снижение объемного КПД вследствие износа прецизионных пар качающего узла и предохранительного клапана, а также внутренних уплотнений приводит к значительным (в 2...3 раза) задержкам в работе, несоблюдению технологии и правил безопасности выполнения работ (домкрат не удерживает штатную нагрузку в течение нормативного времени – 5 мин.).

Стендовые испытания однозначно подтверждают недопустимость эксплуатации инструмента при наличии внешних течей.

Последнее обстоятельство однозначно требует учитывать характер изменения полного и объемного КПД для инструмента с объемным гидроприводом, в той же мере, как и для гидросистем с машинным приводом.

Полный КПД привода может быть определен как отношение полезной работы при выдвигании штока механизма к совершенной работе:

$$\eta_{\text{полн}} = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затр}}} = \frac{F \cdot H}{M \cdot n \cdot \varphi} \quad (15)$$

где:  $A_{\text{полезн}}$  - полезная работа, совершенная гидроприводом;

$A_{\text{затр}}$  - работа, проделанная оператором (монтером пути), затраченная на преодоление силы  $F$  и полном ходе штока гидроцилиндра;

$F$  – сила, действующая на шток гидроцилиндра;

$M$  – момент на рукоятки привода насоса;

$n$  - число полномерных ходов рукоятки привода насоса.

Объёмный КПД гидропривода инструмента можно определить как отношение полезного расхода к теоретической суммарной подаче насоса за цикл (полное выдвигание штока под нагрузкой):

$$\eta_{\text{об}} = \frac{Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{теор}}} = \frac{H \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ц}}^2}{4}}{q_{\text{н}} \cdot n} \quad (16)$$

где:  $Q_{\text{теор}}$  - теоретическая подача насоса;

$Q_{\text{полезн}}$  - полезный расход в гидросистеме;

$d_{\text{ц}}$  - диаметр поршня гидроцилиндра;

$q_{\text{н}}$  - рабочий объем качающего узла насоса.

Если нагрузка  $F$  изменяется линейно по мере выдвигания штока гидроцилиндра то имеем за цикл:

$$\eta_{\text{полн}} = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затр}}} = \frac{(F_1 + F_2) \cdot H}{(M_1 + M_2) \cdot n \cdot \varphi} \quad (17)$$

где  $M_1, M_2$  - момент на рукоятке привода насоса в начале и в конце выдвигания штока, соответственно;

$\varphi$  - угол поворота рукоятки, рад.

Для определения КПД при нелинейном изменении нагрузки воспользуемся следующим выражением:

$$\eta_{\text{полн}} = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затр}}} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n M_i \cdot n \cdot \varphi} \quad (18)$$

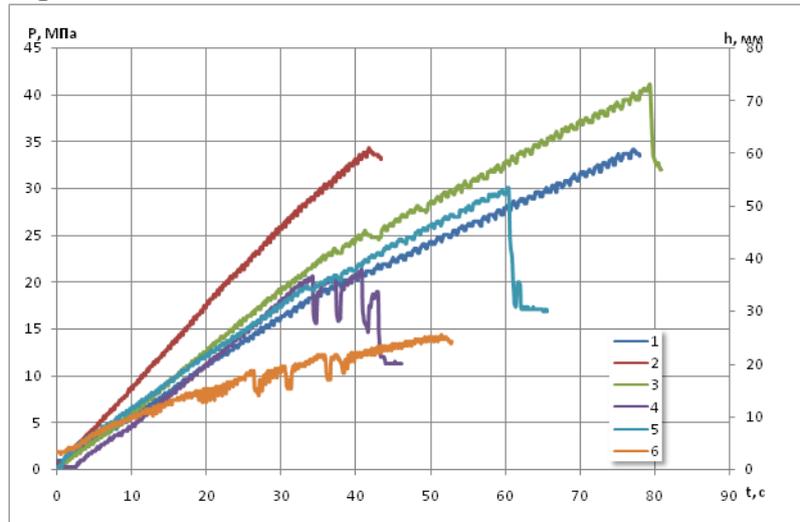
где  $F_i$  - усилие на штоке гидроцилиндра на  $i$ -том ходу рукоятки привода насоса;

$h_i$  - величина выдвигания плунжера или штока гидроцилиндра на  $i$ -том ходу;

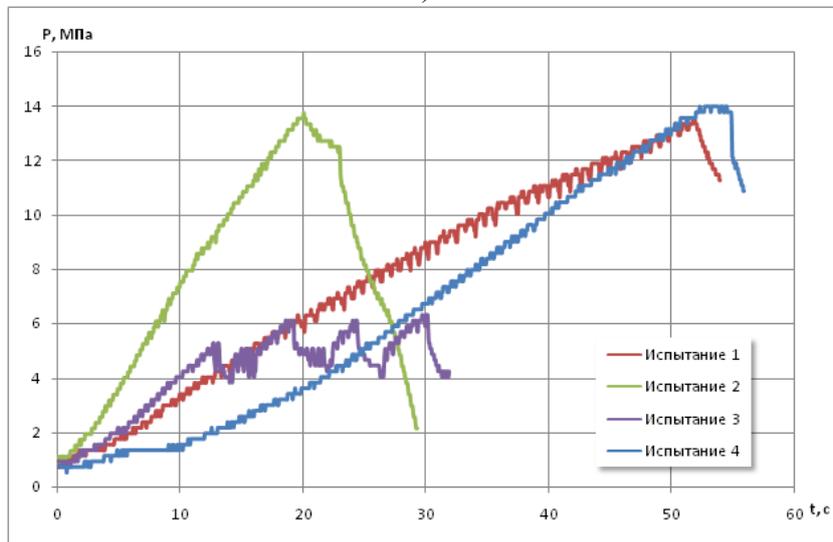
$M_i$  - момент на рукоятке привода насоса на  $i$ -том ходу.

Полученные в ходе испытаний домкратов ДПГ-10 и ДГ-15 зависимости изменения КПД от нагрузки представлены на рис. 9. Экспериментально полу-

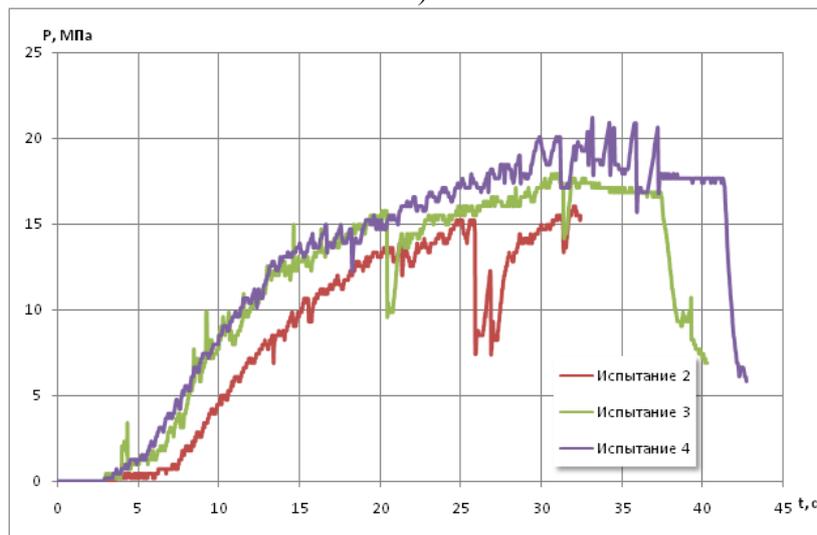
ченные точки обрабатывались стандартным способом (полиномиальная аппроксимация) в среде Excel.



а)



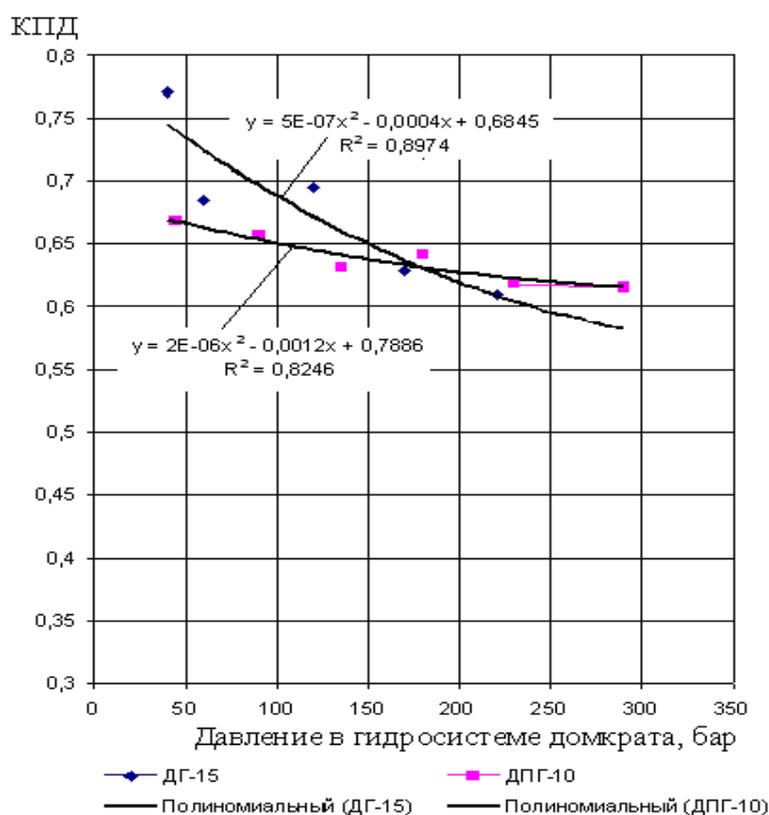
б)



в)

Рис. 8. Результаты испытаний: а – домкрат; б – разгонщик; в - рихтовщик

Необходимо отметить, что испытаниям подвергся инструмент, некоторое время находившейся в эксплуатации. Хотя характеристика изменения КПД в зависимости от нагрузки является стандартной для гидросистем с объемным гидроприводом является стандартной и общепринятой для объемных гидроприводов машин, однако до настоящего времени не включалась в паспортные характеристики гидравлического путевого инструмента. Испытания показали, что численные значения объемного и полного КПД гидродомкратов, находившихся в эксплуатации, примерно соответствуют значениям объемного и полного КПД гидроприводов мобильных машин, отработавших 1000...1500 ч, а характер изменения объемного и полного КПД с увеличением нагрузки (и, следовательно, с ростом давления в гидросистеме) также примерно соответствует характеристикам гидропривода мобильных машин с указанной наработкой. Таким образом, введение характеристик по КПД в паспортные данные гидроинструмента представляется правомерным, обоснованным и необходимым требованием, в частности при сертификации



инструмента.

Для успешной реализации последнего положения заводы-изготовителями должны оснастить соответствующие цеха испытательными стендами, обеспечивающими изменение нагрузки на инструмент в продолжение рабочего цикла от минимальной до максимальной. Исходя из аналогий для машиностроительного гидропривода минимально допустимыми значениями КПД для новых агрегатов при номинальной нагрузке на штоке следует считать величину порядка 0,85.

Рис. 9. Изменение КПД домкратов от нагрузки

Введение характеристик по КПД в паспортные данные гидроинструмента и их изучение позволит организациям-потребителям делать обоснованный выбор при закупках с учетом задач, для которых приобретается путевой инструмент с объемным гидроприводом.

Помимо проведенных испытаний путевого инструмента с объемным гидроприводом, комплекс стендов позволяет успешно испытывать и другие типы инструмента, например с механическим (винтовым) приводом. В ходе испытаний определялись величина подъема (сжатия пружин стенда), усилие на лапе домкрата и крутящий момент на ходовой гайке винта, что позволило определить основные параметры изделий.

Дальнейшее развитие исследований в данном направлении, ведущееся на кафедре «Путевые, строительные машины и робототехнические комплексы» МИИТа при участии автора привело к разработке конструкции стенда с нелинейным нагружением за счет применения гидропривода с сервоуправлением, так как более или менее полная имитация нагрузки на рабочий орган инструмента может быть достигнута только в этом случае. Принципиальная гидравлическая схема стенда представлена на рис. 10.

Управление стендом (величиной нагрузки в зависимости от хода штока гидроцилиндра домкрата) может осуществляться в двух режимах. Первый режим – режим ручного управления. Осуществляется при включенном распределителе Р1. Изменение нагрузки происходит ступенчато, с малым шагом (соответственно одному из графиков, представленных на рис.6) путем регулирования пружины клапана КП2, давление контролируется по манометрам М1, М2. Запись ведется с датчика Д1.

Второй режим – автоматизированное управление от компьютера. Осуществляется при включенном распределителе Р2, изменение нагрузки происходит плавно, путем регулирования клапана с электромагнитным управлением КП3. Схема работы и управления стендом представлена на рис. 11. После включения управляющего процессора (компьютер, оборудованный цифроаналоговым и аналого-цифровыми преобразователями) оператор задается тип рельсошпальной решетки, нагрузка от которой на домкрат должна имитироваться на стенде. После расчета эквивалентного для данной гидросистемы значения давления в рабочей полости нагрузочного цилиндра стенда (управляющий сигнал поступает на цифроаналоговый преобразователь и далее на электромагнит клапана КП3 (см. рис.10). Изменение давления в системе отслеживается датчиком давления и контролируется по манометру. Закачка масла в рабочий цилиндр домкрата производится помощником оператора. По мере выдвижения штока датчик перемещения передает сигнал на блок усилителей и далее на соответствующий аналого-цифровой преобразователь. Значение высоты подъема, эквивалентной нагрузке от рельсошпальной решетки РШ, давление в гидросистеме выводятся на экран монитора и контролируются оператором. Так как плавное изменение нагрузки на домкрат позволяет практически точно имитировать условия работы инструмента в лабораторных условиях, то автоматизированный режим управления следует применять как основной (штатный) режим работы стенда.

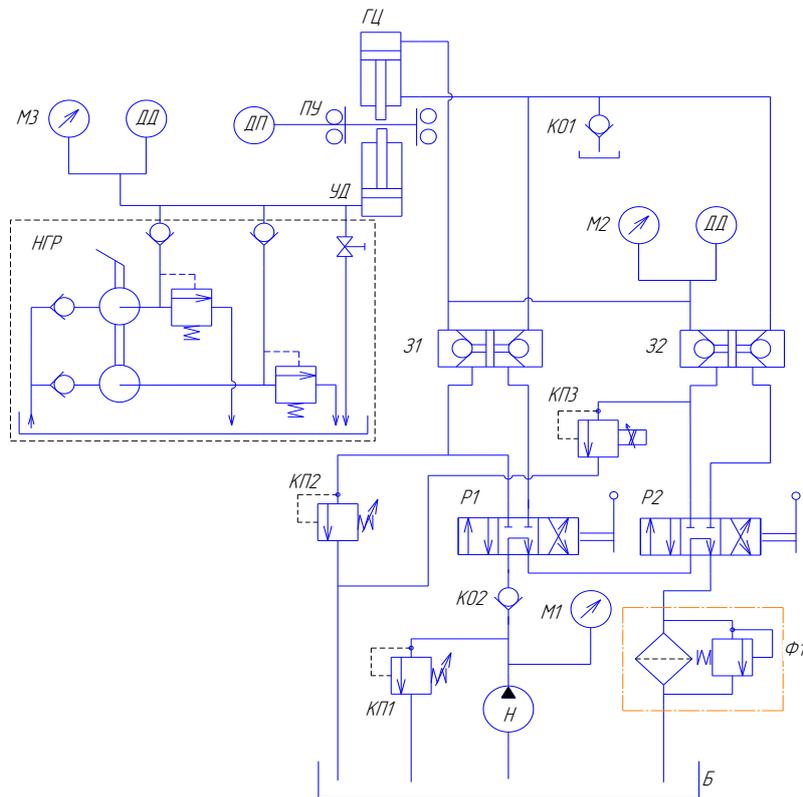


Рис.10. Принципиальная гидравлическая схема стенда.

Н- насос; Б-бак; КО1, КО2 – клапан обратный; 31, 32- гидрозамки двухсторонние; ГЦ- нагрузочный гидроцилиндр; Р1, Р2 – распределители; Ф1- фильтр; КР1 – предохранительный клапан насоса; КР2- предохранительный клапан с ручным управлением; КР3 -предохранительный клапан с электромагнитным пропорциональным управлением; М1, М2, М3- манометры; ДД – датчик давления; ДП- датчик величины хода штока (высоты подъёма), НГР – насос гидравлический ручной.

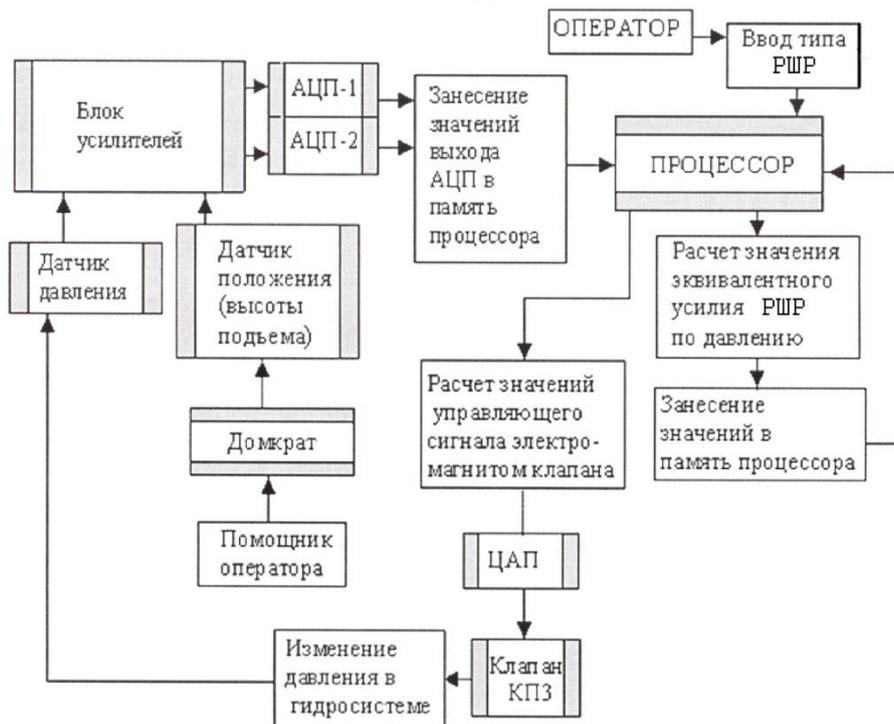


Рис. 11. Блок-схема управления и работы стенда в автоматизированном режиме

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1) Организация контрольных испытаний для путевого инструмента с гидравлическим объемным приводом, как и для других серийно выпускаемых изделий машиностроения, является одним из основных методов повышения эксплуатационной надежности.
- 2) Оптимальное и минимальное значение средней наработки на отказ, являются для гидравлического путевого инструмента основными количественными критериями оценки качества. При их определении должны учитываться как экономический эффект от повышения надежности, так и затраты на его достижение.
- 3) Анализ зависимости между затратами на изготовление путевого инструмента с объемным гидроприводом и средней наработкой на отказ дает возможность прогнозировать изменение расходов в связи с изменением надежности инструмента, используя при этом информацию о надежности отдельных составных частей.
- 4) Нагрузки, действующие на гидроцилиндр путевого инструмента с объемным гидроприводом, носят нелинейный характер.
- 5) Одним из основных показателей технического состояния инструмента с объемным гидроприводом является объемный и общий КПД.
- 6) Стенды для испытаний путевого инструмента с объемным гидроприводом могут быть выполнены по двум основным схемам: с линейным и нелинейным изменением нагрузки на исполнительный орган инструмента.
- 7) Практика создания и опыт работы стендов показывают, что обработку результатов измерений полученных в ходе испытаний существенно проще проводить в случае линейного изменения нагрузки. Это в свою очередь дает более высокую точность качества интерпретации результатов испытаний.
- 8) Разработанные в ходе выполнения диссертационных исследований стенды являются по существу универсальными испытательными агрегатами и позволяют успешно испытывать как путевой гидравлический инструмент, так и механический путевой инструмент (винтовые домкраты, рихтовщики т.д.), а также и серийно выпускаемые гидроцилиндры практически всех типов с ходом шока до одного метра, применяемые на путевых, строительно-дорожных и грузоподъемных машинах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

По материалам диссертационной работы опубликовано 12 печатных работ, из них 4 в журналах рекомендованных ВАК РФ для специальности 05.02.02– «Машиноведение, системы приводов и детали машин».

1. Трошко И.В. Стенды для испытания механизированного инструмента, используемые при поднятии и выправки пути //Вестник МИИТа, 2005. Выпуск 12. с. 41-46
2. Трошко И.В. Стенды для испытания механизированного инструмента // Путь и путевое хозяйство 2005. №6. с. 27-28
3. Трошко И.В. Стенды для испытания механизированного инструмента, используемые при поднятии и выправки пути //Путевые машины г. Калуга. 2005.с. 50-55
4. Ковальский В.Ф., Трошко И.В. Стендовые испытания механизированного путевого инструмента // Безопасность движения. МИИТ.2005.Выпуск 6.с. X24-X26
5. Трошко И.В. Исследование механизированного путевого инструмента в результате всесторонних стендовых испытаний, включая испытания на надёжность и ресурсные испытания // Безопасность движения. МИИТ.2006.Выпуск 7.с. III 20-III 22
6. Гринчар Н.Г., Трошко И.В. Испытания гидроагрегатов как инструмент обеспечения качества и надёжности //Механизация строительства, 2007. №7. с. 8-11
7. Гринчар Н.Г., Зайцева Н.А., Трошко И.В. О методах выбора планов контрольных испытаний гидроагрегатов массового выпуска // Механизация строительства , 2007. №9. с.24-25.
8. Гринчар Н.Г., Зайцева Н.А., Трошко И.В. Нормирование показателей надёжности при испытаниях гидроагрегатов // Механизация строительства , 2007. №11. с. 27-29
9. Гринчар Н.Г., Трошко И.В. Определение КПД гидравлического инструмента // Путь и путевое хозяйство, 2007.№5. с .18-19
10. Гринчар Н.Г., Морозов Ю.В., Трошко И.В. Исследование КПД гидроинструмента //Путь и путевое хозяйство, 2009 .№3. с. 32-33
11. Гринчар Н.Г., Морозов Ю.В., Трошко И.В. Метод определения КПД гидравлического инструмента //Механизация строительства , 2009 .№7. с.11-14
12. Гринчар Н.Г., Ковальский В.Ф., Трошко И.В. Универсальный стенд для испытания гидравлических домкратов //Путь и путевое хозяйство, 2009. №9. с.17-18

---

Подписано в печать -  
Печать офсетная. Бумага для множ. апп.

Усл.– печ.л.-  
Формат 60x84/16

---

Тираж 80 экз. Заказ№

Типография МИИТ, 127994, Москва, ул. Образцова, д.9, строение 9