

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

# **В Е С Т Н И К**

**ЛУГАНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА  
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

**№ 11  
2023**

**VII научно-техническая конференция  
«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ ТЕКУЧИХ СРЕД»**

*27 ноября – 2 декабря 2023 года*

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**Луганск 2023**

# ВЕСТНИК

ЛУГАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ

№ 11 2023

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ОСНОВАН В 2015 ГОДУ  
ВХОДИТ В БАЗУ  
РИНЦ

ОСНОВАТЕЛЬ

ФГБОУ ВО

«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации,  
печати и массовых коммуникаций

Серия № ПИ 000170 от 19 января 2021 г.

Свидетельство о государственной регистрации  
Издателя, изготовителя и распространителя средства  
массовой информации

МИ-СРГ ИД 000003 от 20 ноября 2015г.

Журнал включен в перечень научных изданий ВАК ЛНР (Приказ № 8-ОД от 8.01.19) в котором могут публиковаться результаты диссертационных работ на соискание ученой степени доктора и кандидата физико-математических, химических, технических, экономических, исторических, философских, филологических, юридических, педагогических, психологических, социологических наук.

ISSN 2522-4905

## Главная редакционная коллегия :

Рябичев В.Д., докт. техн. наук, (главный редактор),  
Гутько Ю.И., докт. техн. наук, (зам. главн. редактора),  
Витренко В.А., докт. техн. наук (зам. главн. редактора),  
Авершин А.А., канд. психол. наук,  
Андрійчук Н.Д., докт. техн. наук,  
Атоян А.И., докт. филос. наук,  
Белых А.С., докт. пед. наук,  
Бельдюгин В.А., канд. ист. наук,  
Болдырев К.А., докт. экон. наук,  
Будиков Л.Я., докт. техн. наук,  
Губачева Л.А., докт. техн. наук,  
Дейнека И.Г., докт. техн. наук,  
Дрозд Г.Я., докт. техн. наук,  
Ерошин С.С., докт. техн. наук,  
Замота Т.Н., докт. техн. наук,  
Исаев В.Д., докт. филос. наук,  
Клименко А.С., докт. филол. наук,  
Кривоколыско С.Г., докт. хим. наук,  
Крохмалева Е.Г., канд. пед. наук,  
Корсунов К.А., докт. техн. наук,  
Лазор В.В., докт. юридич. наук,  
Лазор Л.И., докт. юридич. наук,  
Лустенко А.Ю., докт. филос. наук,

Ляпин В.П., докт. биол. наук,  
Максимова Т.С., докт. экон. наук,  
Максимов В.В., докт. экон. наук,  
Мечетный Ю.Н., докт. мед. наук,  
Мирошников В.В., докт. техн. наук,  
Мортиков В.В., докт. экон. наук,  
Нечаев Г.И., докт. техн. наук,  
Панайотов К.К., канд. техн. наук,  
Родионов А.В., докт. экон. наук,  
Рябичева Л.А., докт. техн. наук,  
Салита С.В., докт. экон. наук,  
Санжаров С.Н., докт. ист. наук,  
Свиридова Н.Д., докт. экон. наук,  
Сёмин Д.А., докт. техн. наук,  
Скляр П.П., докт. психол. наук,  
Тарарычкін І.А., докт. техн. наук,  
Тисунова В.Н., докт. экон. наук,  
Утутов Н.Л., докт. техн. наук,  
Фесенко Ю.П., докт. филол. наук,  
Харьковский Р.Г., канд. ист. наук,  
Шамшина И.И., докт. юридич. наук,  
Шелото В.М., докт. филос. наук,  
Яковенко В.В., докт. техн. наук

Ответственный за выпуск: Сёмин Д.А.

Рекомендовано в печать Ученым советом Луганского государственного университета имени Владимира Даля.  
(Протокол № 1 от 13.09.2023 г.)

Материалы номера печатаются на языке оригинала.

# VESTNIK

LUGANSK  
VLADIMIR DAHL  
STATE UNIVERSITY

№ 11 2023

THE SCIENTIFIC JOURNAL  
WAS FOUNDED IN 2015  
INCLUDED INTO THE BASE OF  
RISC

FOUNDER

LSU NAMED AFTER V. DAHL

Journal is registered by the Ministry of Information,  
Publishing and Mass Communications

Series № PI 000170 of January, 19 2021

State Registration Certificate of Publisher, Producer  
and Distributor of means of mass information

MI-SRG ID 000003 of November, 20 2015

УДК 62-822

## ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДА ДЛЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Батурин А. А., Бодров В. В., Багаутдинов Р. М., Гойдо М. Е., Талалушкин Е. В.

## ELECTROHYDRAULIC CONTROL SYSTEM OF THE BENCH FOR FULL-SCALE TESTING OF LARGE DIAMETER PIPES

Baturin A. A., Bodrov V. V., Bagautdinov R. M., Goydo M. E., Talalushkin E. V.

*Приведена информация о составе и работе гидросистемы стенда оригинальной конструкции, предназначенного для испытания труб большого диаметра (до 1220 мм), используемых в нефтегазовой промышленности для транспортировки нефти и газа, на долговечность внутренним давлением и изгибающим моментом. Стенд разработан и изготовлен в ООО «Уральский инжиниринговый центр» (г. Челябинск). Рассмотрены алгоритмы управления работой стенда для случаев, когда испытания трубы при нагружении ее внутренним давлением и изгибающим моментом производятся по отдельности и совместно.*

**Ключевые слова:** стенд для испытания труб на долговечность; гидравлическая система; алгоритмы управления.

**Введение.** Исследование прочности, ресурса, стойкости к внешним механическим нагрузкам и сейсмическим воздействиям труб, применяемых в нефтегазовой промышленности, предполагает проведение соответствующих стендовых испытаний. Результатом указанных исследований может стать определение сроков безопасной эксплуатации и ремонта труб, внесение поправочных коэффициентов в расчетные схемы (при несоответствии расчетных и фактических показателей работы труб).

С учетом разных размеров труб, используемых для транспортировки нефти и газа, и задач их испытаний существует достаточно большое число предложений по исполнению стендов для проведения испытаний труб [1, ..., 8].

В связи с многообразием технических требований, предъявляемых в каждом конкретном случае к стенду для испытания труб, существующие стенды подобного рода в большинстве случаев являются уникальными по своей конструкции, и новые проектируемые стенды во многом отличаются от известных аналогов.

**Технический объект.** Для проведения натурных испытаний труб большого наружного диаметра (от 820 до 1220 мм) длиной от 4 до 12,2 м на долговечность внутренним давлением и

поперечными силами, создающими изгибающий момент, и доведения трубы до потери устойчивости в ООО «Уральский инжиниринговый центр» (г. Челябинск) разработан испытательный стенд оригинальной конструкции (рис. 1) [9]. Стенд допускает проведение указанных видов испытаний как по отдельности, так и в комплексе.

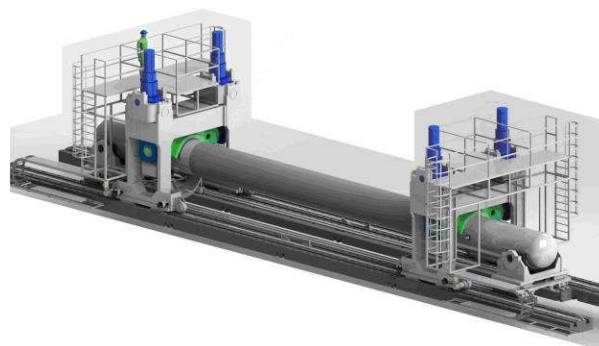


Рис. 1. Общий вид испытательного стенда

**Технические решения.** Нагружение трубы изгибающим моментом осуществляется посредством четырех идентичных поршневых гидроцилиндров двухстороннего действия с двухсторонним штоком (далее называемых нагружающими гидроцилиндрами), установленных попарно на каждом из двух порталов стенда (см. рис. 1) симметрично относительно вертикальной продольной осевой плоскости портала (и стенда в целом). При этом корпус каждого из этих гидроцилиндров (рис. 2) посредством карданного подвеса соединен с соответствующим порталом (рис. 3), а его нижний шток посредством проушины со сферическим шарниром соединен с хомутом, через который сила, создаваемая парой гидроцилиндров, установленных на портале, передается на испытываемую трубу, обеспечивая нагружение последней изгибающим моментом.

Указанные гидроцилиндры выполнены с гидростатическими опорами и снабжены датчиком положения поршня со штоками. Для

автоматического дистанционного контроля значения силы, создаваемой гидроцилиндром, используется датчик силы.



Рис. 2. Нагружающие гидроцилиндры на участке испытаний готовой продукции ООО «Уральский инжиниринговый центр»



Рис. 3. Общий вид одного портала (без нагружающих гидроцилиндров)

Для управления каждым из нагружающих гидроцилиндров служит индивидуальный четырехлинейный трехпозиционный гидрораспределитель с пропорциональным электрическим управлением.

Привод двух ведущих колес каждого из порталов осуществляется посредством двух параллельно подключенных к управляющему ими гидрораспределителю героторных гидромоторов, валы которых соединены с соответствующими колесами через планетарные редукторы. Синхронизация вращения валов этих гидромоторов обеспечивается за счет механической связи приводимых ими колес через соответствующий портал и направляющие, по которым осуществляется перемещение портала.

Для подъема и фиксации каждого портала относительно его направляющих (например, перед началом проведения испытаний) и опускания

портала на его направляющие для перемещения (например, после проведения испытаний) в составе портала имеются четыре винтовых домкрата с приводом от индивидуальных героторных гидромоторов, рабочие каналы которых соединены параллельно.

При нагружении испытываемой трубы изгибающим моментом поперечная сила, создаваемая парой нагружающих гидроцилиндров, установленных на портале, передается на трубу посредством хомута. Перед закреплением трубы на стенде хомут должен быть установлен таким образом, чтобы ось его внутренней поверхности располагалась горизонтально и параллельно продольной оси стенда. Для этого на портале расположены четыре установочных поршневых гидроцилиндра двухстороннего действия с односторонним штоком, два из которых расположены горизонтально, а два других – вертикально. Указанная установка хомута осуществляется при выдвижении штоков гидроцилиндров на полную величину (до упора их поршней в проходные крышки), что обеспечивается при монтаже стенда. Перед началом проведения испытаний трубы штоки всех установочных гидроцилиндров должны быть втянуты до упора их поршней в непроходные крышки.

В качестве рабочей жидкости для испытания труб внутренним давлением используется водная эмульсия. Оборудование для приготовления, хранения, перекачки и фильтрации эмульсии входит в состав стенда. Для заполнения трубы эмульсией и повышения ее давления до начального установленного уровня, а также откачки эмульсии из трубы после проведения испытаний используется центробежный насос.

Для обеспечения изменения давления эмульсии в трубе, подлежащей испытаниям, по заданному закону используются масляно-эмульсионные гидропреобразователи.

Гидропреобразователь представляет собой комбинацию поршневого гидроцилиндра двухстороннего действия с односторонним штоком, работающего на гидравлическом масле (далее называемого масляным гидроцилиндром), и поршневого гидроцилиндра одностороннего действия с односторонним штоком, работающего на эмульсии (далее называемого эмульсионным гидроцилиндром). У эмульсионного гидроцилиндра рабочей является поршневая полость, а штоковая посредством сапуна (воздушного фильтра) соединена с окружающей средой (атмосферой). Корпуса масляного и эмульсионного гидроцилиндров жестко соединены между собой, а шток является общим и жестко соединен с поршнями обоих гидроцилиндров. В силу указанной конструкции при осуществлении возвратно-поступательного движения поршня со штоком масляного гидроцилиндра эмульсионный гидроцилиндр работает как пульсатор, создавая



поток эмульсии, изменяющий направление своего движения с изменением направления движения поршня.

Применение гидропреобразователей с использованием в качестве второй рабочей жидкости гидравлического масла обусловлено тем, что гидравлические устройства, работающие на масле, имеют более широкую номенклатуру и функциональные возможности, обладают большими доступностью и долговечностью и при прочих равных условиях более низкой стоимостью.

Каждый гидропреобразователь выполнен с датчиком положения его подвижных частей (поршней со штоком), установленным со стороны масляного гидроцилиндра.

Для повышения долговечности гидропреобразователя путем снижения вероятности попадания в поршневую рабочую полость эмульсионного гидроцилиндра загрязнений из эмульсии, заполняющей испытываемую трубу, указанная полость соединяется с внутренней полостью трубы через напорный фильтр с обратными клапанами, обеспечивающими возможность движения эмульсии через фильтр только в направлении гидропреобразователя (для исключения вымывания из фильтроэлементов частиц загрязнений при изменении направления движения эмульсии на участке между гидропреобразователем и испытываемой трубой).

Для управления подачей рабочей жидкости в поршневую и штоковую полости масляного гидроцилиндра, входящего в состав гидропреобразователя, используется четырехлинейный трехпозиционный гидрораспределитель с пропорциональным электрическим управлением, индивидуальный для каждого гидропреобразователя.

В составе насосной установки стенда, работающей на гидравлическом масле, можно выделить четыре группы насосов: 1) группу силовых насосов для питания рабочей жидкостью высокого давления гидропривода нагружения трубы внутренним давлением; 2) группу силовых насосов для питания рабочей жидкостью высокого давления гидропривода нагружения трубы изгибающим моментом; 3) группу силовых насосов для питания рабочей жидкостью высокого давления гидростатических опор нагружающих гидроцилиндров и для осуществления управления двухкаскадными направляющими и пропорциональными гидрораспределителями; 4) группу насосов низкого давления для осуществления кондиционирования (фильтрации, нагрева и охлаждения) рабочей жидкости и создания подпора на входе силовых насосов (рис. 4).

Все силовые насосы являются одинаковыми. Это аксиально-поршневые регулируемые насосы, оснащенные регулятором давления с дистанционным управлением. Для дистанционного управления давлением настройки регуляторов

силовых насосов каждой из вышеуказанных групп используется соответствующий предохранительный клапан с пропорциональным электрическим управлением.



Рис. 4. Вид части насосной установки стенда с гидропреобразователями

Предусмотрена возможность объединения потоков рабочей жидкости от силовых насосов, предназначенных для питания рабочей жидкостью гидроприводов нагружения трубы внутренним давлением и нагружения трубы изгибающим моментом, с обеспечением настройки регуляторов этих насосов на один и тот же уровень давления. Такое объединение может быть полезно, например, в случае потребности в повышенном расходе рабочей жидкости при испытании труб внутренним давлением.

Помимо упомянутых выше датчиков положения и силы, гидросистема стенда укомплектована комплексом датчиков давления, температуры и уровня рабочей жидкости, сигнализаторов загрязненности фильтров (реле перепада давления), концевых выключателей, позволяющих контролировать состояние и работу отдельных гидравлических устройств, корректировать управляющие сигналы, осуществлять блокировки, исключающие возникновение аварийных ситуаций, и диагностировать возможные неисправности.

**Алгоритм управления.** Выбор (задание) вида испытаний и закона изменения контролируемых параметров осуществляется оператором с использованием АРМ (автоматизированного рабочего места) стенда (рис. 5).

Внутреннее давление  $p_{тр}$  в испытываемой трубе измеряется напрямую посредством датчика давления.

Величина изгибающего момента  $M_{тр}$  трубы связана с суммарным усилием  $R_{сум}$ , создаваемым двумя нагружающими гидроцилиндрами, установленными на одном портале, соотношением

$$M_{тр} = R_{сум} h,$$

где  $h$  — плечо действия силы  $R_{\text{сум}}$  относительно опорной точки трубы.

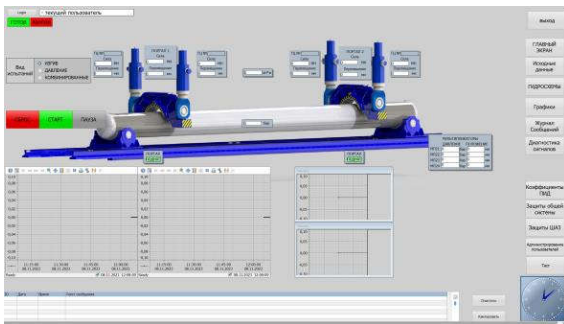


Рис. 5. Вид главного экрана монитора АРМ стэнда

При текущем заданном значении изгибающего момента  $M_{\text{тр.зад}}$  трубы и известном значении плеча  $h$ , которое устанавливается перед началом испытаний и в процессе их проведения не изменяется, требуемое текущее значение силы  $R_{\text{сум.зад}}$  определяется на основании вышеприведенного соотношения, как

$$R_{\text{сум.зад}} = M_{\text{тр.зад}} / h.$$

Фактическое значение суммарного усилия  $R_{\text{сум.ф}}$ , создаваемого двумя нагружающими гидроцилиндрами, установленными на портале, складывается из усилий  $R_{1,ф}$  и  $R_{2,ф}$ , создаваемых каждым из этих гидроцилиндров по отдельности и измеряемых напрямую посредством соответствующих датчиков силы:

$$R_{\text{сум.ф}} = R_{1,ф} + R_{2,ф}.$$

В связи с тем, что значения  $M_{\text{тр}}$  и  $R_{\text{сум}}$  взаимосвязаны однозначно зависимостью:  $M_{\text{тр}} = R_{\text{сум}} h$ , — каждая из величин  $M_{\text{тр}}$  и  $R_{\text{сум}}$  при нагружении трубы изгибающим моментом может использоваться в качестве контролируемого параметра. Поскольку при работе стэнда на основании прямых измерений определяется величина  $R_{\text{сум}}$ , то далее для определенности она рассматривается в качестве контролируемого параметра.

В связи с тем, что конструкцией стэнда предусмотрено нескольких устройств как для изменения внутреннего давления в трубе, так и для изменения изгибающего момента испытываемой трубы, которые должны работать синхронно по перемещению их подвижных звеньев: до четырех гидропреобразователей при нагружении трубы внутренним давлением и каждая пара нагружающих гидроцилиндров, установленных на одном портале, — то для решения задач автоматического изменения

как внутреннего давления  $p_{\text{тр}}$  в трубе, так и поперечной силы  $R_{\text{сум}}$ , создающей изгибающий момент  $M_{\text{тр}}$  трубы, может использоваться один и тот же алгоритм.

С учетом вышесказанного далее приняты следующие обозначения:  $x$  — контролируемый параметр ( $p_{\text{тр}}$  или  $R_{\text{сум}}$ );  $x_{\text{max}}$  — заданное максимальное значение контролируемого параметра;  $x_{\text{min}}$  — заданное минимальное значение контролируемого параметра;  $x_{\text{зад}}$  — текущее заданное значение контролируемого параметра;  $x_{\text{ф}}$  — текущее фактическое значение контролируемого параметра (в соответствии с сигналами соответствующих датчиков);  $z_{\text{вед}}$  — текущая координата подвижного звена ведущего устройства (гидропреобразователя или нагружающего гидроцилиндра), используемого для обеспечения изменения контролируемого параметра (соответственно  $p_{\text{тр}}$  или  $R_{\text{сум}}$ ) по заданному закону;  $z_i$  — текущая координата подвижного звена  $i$ -го ведомого устройства (гидропреобразователя или нагружающего гидроцилиндра), используемого для обеспечения изменения контролируемого параметра (соответственно  $p_{\text{тр}}$  или  $R_{\text{сум}}$ ) по заданному закону;  $t$  — время с начала текущего цикла нагружения.

Выбор (назначение) ведущего и ведомого исполнительных устройств (нагружающих гидроцилиндров каждого из порталов и гидропреобразователей) производится оператором с АРМ стэнда.

Для ведущего исполнительного механизма управляющий сигнал  $U_{\text{к.вед}}$ , поступающий с выхода контроллера на вход электронного блока управления пропорционального гидрораспределителя, управляющего данным исполнительным механизмом, в процессе работы стэнда в автоматическом режиме формируется следующим образом:

$$U_{\text{к.вед}} = k_{\text{ос}}(x_{\text{зад}} - x_{\text{ф}}) + k_{\text{инт}} \int_0^t (x_{\text{зад}} - x_{\text{ф}}) dt.$$

Для  $i$ -го ведомого исполнительного механизма управляющий сигнал  $U_{\text{к.}i}$ , поступающий с выхода контроллера на вход электронного блока управления пропорционального гидрораспределителя, управляющего этим исполнительным механизмом, в процессе работы стэнда в автоматическом режиме формируется следующим образом:

$$U_{\text{к.}i} = k_{\text{ос}}(x_{\text{зад}} - x_{\text{ф}}) + k_{\text{инт}} \int_0^t (x_{\text{зад}} - x_{\text{ф}}) dt + k_{\text{ос.}i}(z_{\text{вед}} - z_i) + k_{\text{инт.}i} \int_0^t (z_{\text{вед}} - z_i) dt.$$

В вышеприведенных выражениях:  $k_{ос}$ ,  $k_{инт}$ ,  $k_{ос.i}$ ,  $k_{инт.i}$  — коэффициенты усиления.

Если в соответствующий момент времени контролируемый параметр  $x$  при его увеличении не достиг значения  $x_{max}$ , то в последующие моменты времени возможность уменьшения управляющего сигнала, подаваемого на вход электронного блока управления пропорционального регулирующего гидроаппарата, блокируется до тех пор, пока не будет достигнуто значение  $x_{max}$  (при этом увеличение упомянутого управляющего сигнала возможно). Если в соответствующий момент времени контролируемый параметр  $x$  при его уменьшении не достиг значения  $x_{min}$ , то в последующие моменты времени возможность увеличения управляющего сигнала, подаваемого на вход электронного блока управления пропорционального регулирующего гидроаппарата, блокируется до тех пор, пока не будет достигнуто значение  $x_{min}$  (при этом возможно уменьшение упомянутого управляющего сигнала). Поскольку из-за указанной корректировки продолжительность каждого цикла испытаний может оказаться больше заданной, то в пределах каждого цикла отсчет времени производится с момента окончания предыдущего цикла (то есть при гарантированном достижении контролируемым параметром значения  $x_{min}$ ).

В процессе испытаний текущие значения координат  $z_{вед}$  и  $z_i$  постоянно сравниваются с их «эталонными» значениями, полученными при прочих равных условиях (при аналогичных значениях  $x_{зад}$ ) при тестовом нагружении. В случае превышения расхождением между текущими и «эталонными» значениями координат некоторого порогового уровня, установленного (заданного) с АРМ стенда, оператор должен с учетом конкретной ситуации принять решение о прекращении или продолжении испытаний.

При одновременном нагружении трубы внутренним давлением и изгибающим моментом для исключения роста рассогласования по времени фактических моментов достижения внутренним давлением и изгибающим моментом максимальных и минимальных значений свыше максимально допустимого значения циклы нагружения трубы по обоим указанным параметрам начинаются одновременно и для каждого нового цикла отсчет времени начинается с нуля.

Если при испытаниях трубы с одновременным нагружением ее внутренним давлением и изгибающим моментом каким-либо параметром достигнуто максимальное (минимальное) значение, а другим параметром еще нет, то уменьшение (увеличение) значения параметра, которым достигнуто максимальное (минимальное) значение,

блокируется до тех пор, пока другим параметром не будет достигнуто соответствующее значение.

Выбор параметров гидросистемы стенда выполнен из условия обеспечения всех предъявляемых к стенду требований для случая проведения самых напряженных с точки зрения потребляемой энергии испытаний. В соответствии с этим осуществлен, в частности, выбор числа и типоразмеров силовых насосов, числа масляно-эмульсионных гидропреобразователей для нагружения труб внутренним давлением, числа и типоразмеров насосов системы кондиционирования (фильтрации и охлаждения) гидравлического масла, числа и типоразмеров теплообменных аппаратов с воздушным охлаждением.

Следует отметить, что для упрощения конструкции гидросистемы стенда в ней не предусмотрено осуществление рекуперации энергии. Поэтому при работе стенда вся потребляемая энергия в конечном итоге преобразуется в тепловую энергию и теряется. В связи с этим для минимизации потерь энергии в процессе проведения испытаний актуальной является задача выбора рационального числа силовых насосов и их рабочего давления, а также числа циркуляционных насосов и используемых теплообменных аппаратов на основании данных о параметрах трубы, подлежащей испытанию, и о требуемых режимах проведения испытаний [9].

В системе управления стенда предусмотрено автоматическое определение необходимых параметров работы его гидросистемы на основании данных о параметрах трубы, подлежащей испытанию, и требуемых режимах проведения испытаний, которые вводятся оператором стенда в интерактивном режиме с использованием АРМ стенда (рис. 6).

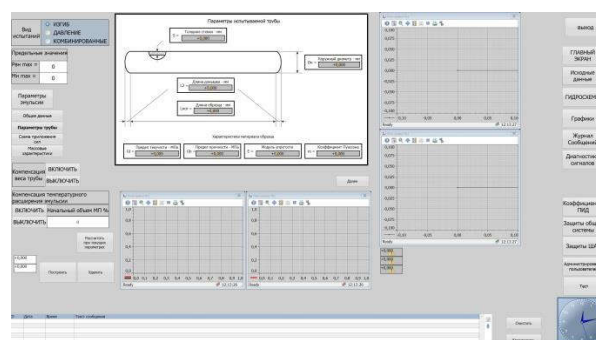


Рис. 6. Вид экрана монитора АРМ стенда для ввода данных об испытываемой трубе

Все вычисления производятся с помощью компьютера с использованием специального программного обеспечения, разработанного на основании соответствующего математического обеспечения.

Потребление энергии при эксплуатации стенда может быть существенно снижено, если в процессе его работы изменять давление настройки

регуляторов силовых насосов в соответствии с требуемым законом изменения контролируемого параметра с запасом на гидравлические и механические потери, необходимым для гарантированного решения задач регулирования, и производить корректировку алгоритма регулирования давления настройки регуляторов силовых насосов на этапе работы гидроприводов с попутной нагрузкой [11, 12]. Применение клапанов с пропорциональным гидравлическим управлением для настройки регуляторов силовых насосов обеспечивает такую возможность.

**Выводы.** Спроектированный испытательный стенд позволяет проводить исследования прочности, ресурса, стойкости к внешним механическим нагрузкам и сейсмическим воздействиям труб большого диаметра, в частности, труб, используемых в нефтегазовой отрасли промышленности. Результатом указанных исследований может стать определение сроков безопасной эксплуатации и ремонта труб, внесение поправочных коэффициентов в расчетные схемы (при несоответствии расчетных и фактических показателей работы труб).

Использование для настройки регуляторов давления силовых насосов гидросистемы стенда предохранительных клапанов с пропорциональным электрическим управлением позволяет организовать управление работой стенда, при котором достигается минимизация потребления энергии.

#### Л и т е р а т у р а

1. Авторское свидетельство СССР № 170720. Установка для испытания сварных соединений трубчатых образцов / Ружицкий Б.М. // Оpubл. в Б.И. 1965. № 9.
2. Авторское свидетельство СССР № 1145271. Устройство для испытания труб на изгиб в условиях внутреннего давления / Карпов С.В. // Оpubл. в Б.И. 1985. № 10.
3. Авторское свидетельство СССР № 1174558. Стенд для испытаний нефтепромысловых труб и их соединений / Жаров В.Н., Щербук Н.Д., Ющук В.М., Якубовский Н.В. // Оpubл. в Б.И. 1985. № 31.
4. Патент РФ № 2097725. Стенд для гидравлического испытания труб / Борзунов Б.Н., Рогозин Л.С. // Оpubл. в Б.И. 1997. № 30.
5. Патент РФ № 2222800. Стенд для испытания труб внутренним давлением и на изгиб и гидравлическая система стенда / Зинин Г.А., Мирошник А.Д., Васин Е.С., Соловьев В.А. // Оpubл. в Б.И. 2004. № 3.
6. Патент РФ № 2591873. Способ испытаний труб на долговечность / Студенов Е.П., Скородумов С.В., Соловьев В.А. // Оpubл. в Б.И. 2016. № 20.
7. Патент на полезную модель РФ № 184640. Стенд для создания в трубном образце сложнапряженного состояния / Наумкин Е.А., Мингажев А.Д., Кузев И.Р. и др. // Оpubл. в Б.И. 2018. № 31.
8. Стенд для проведения ресурсных испытаний при циклическом нагружении внутренним давлением стальных труб большого диаметра / Бодров В.В., Багаудинов Р.М., Батулин А.А., Бухаров И.В. // В сборнике: Инновации и импортозамещение в трубной промышленности (Трубы-2016). Труды XXII

Международной научно-практической конференции. Под ред. И.Ю. Пышминцева. Челябинск: ОАО «РосНИТИ». 2016. С. 115-118.

9. Патент РФ № 2691271. Стенд для испытаний труб внутренним давлением и на изгиб / Бодров В.В., Багаудинов Р.М., Батулин А.А., Талалушкин Е.В. // Оpubл. в Б.И. 2019. № 17.

10. Батулин А.А., Бодров В.В., Багаудинов Р.М., Гойдо М.Е., Талалушкин Е.В. Выбор рациональных параметров работы гидросистемы испытательного стенда перед проведением натурных испытаний трубы на долговечность // Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития: сборник статей XII Всероссийской научно-технической конференции, 1 июля 2022 г. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. С. 311-325.

11. Патент РФ № 2759190. Электрогидравлический привод с машинно-дроссельным управлением, чувствительный к нагрузке / Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаудинов Р.М. // Оpubл. в Б.И. 2021. № 31.

12. Патент РФ № 2759191. Способ управления электрогидравлическим следящим приводом / Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаудинов Р.М. // Оpubл. в Б.И. 2021. № 31.

**Baturin A.A., Bodrov V.V., Bagautdinov R.M., Goydo M.E., Talalushkin E.V.**

#### **ELECTROHYDRAULIC CONTROL SYSTEM OF THE BENCH FOR FULL-SCALE TESTING OF LARGE DIAMETER PIPES**

*Information is given about the composition and operation of the hydraulic system of the bench of the original design, consigned to test pipes of large diameter (up to 1220 mm), used in the oil and gas industry for transporting oil and gas, for durability at internal pressure and bending moment. The stand was designed and manufactured in LLC "Ural Engineering Center" (Chelyabinsk). Algorithms for controlling the work of the bench are considered for cases when the tests of the pipe with loading it at internal pressure and bending moment are performed separately and jointly.*

**Key words:** bench for testing pipes for durability; hydraulic system; control algorithms.

**Батулин Александр Алексеевич**, к.т.н., доцент, главный инженер ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.  
**E-mail:** baturin@cheltec.ru

**Baturin Aleksandr Alekseyevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Engineer LLC "Ural Engineering Center", Russia, Chelyabinsk.

**Бодров Валерий Владимирович**, к.т.н., президент группы компаний CHELTEC, ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.  
**E-mail:** vbodrov@cheltec.ru

**Bodrov Valery Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, President of the CHELTEC group of companies, LLC "Ural Engineering Center", Russia, Chelyabinsk.

**Багаудинов Рамиль Мерсентович**, генеральный директор ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.  
**E-mail:** бага@cheltec.ru



**Bagautdinov Ramil Merseitovich**, General Director of LLC “Ural Engineering Center”, Russia, Chelyabinsk.

**Гойдо Максим Ефимович**, к.т.н., доцент, главный инженер проектов ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.

**E-mail:** goido@cheltec.ru

**Goydo Maxim Efimovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Project Engineer LLC “Ural Engineering Center”, Russia, Chelyabinsk.

**Талалушкин Евгений Вячеславович**, ведущий конструктор ООО «Уральский инжиниринговый центр», Россия, г. Челябинск.

**E-mail:** talalushkin@mail.ru

**Talalushkin Evgeny Vyacheslavovich**, Lead constructor LLC “Ural Engineering Center”, Russia, Chelyabinsk

**Рецензент: Выдрин Александр Владимирович**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Процессы и машины обработки металлов давлением» Южно-Уральского государственного университета, Россия, г. Челябинск.

*Статья подана 15.11.2023 г.*