

# ГЕОТЕХНІЧНА І ГІРНИЧА МЕХАНІКА, МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 622.245.1(083.74)

**И.Р. Островский<sup>1</sup>,**  
**В.Ф. Сирик<sup>1</sup>,** канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,  
**В.Н. Самков<sup>1</sup>,**  
**В.Ф. Ганкевич<sup>2</sup>,** канд. техн. наук, доц.,  
**Л.А. Якубович<sup>2</sup>**

1 – ООО „Днепропетровский завод бурового оборудования“, г. Днепропетровск, Украина

2 – Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: pigulev@ua.fm

## УПРОЧНЕНИЕ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

**I.R. Ostrovsky<sup>1</sup>,**  
**V.F. Sirik<sup>1</sup>,** Cand. Sci. (Tech.), Senior Research Fellow,  
**V.N. Samkov<sup>1</sup>,**  
**V.F. Gankevich<sup>2</sup>,** Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,  
**L.A. Yakubovich<sup>2</sup>**

1 – “Dnipropetrovsk Drilling Equipment Plant” Ltd., Dnepropetrovsk, Ukraine

2 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: pigulev@ua.fm

## REINFORCEMENT OF DRILL PIPES

Проведены испытания бурильных труб для определения эксплуатационных показателей: допустимой нагрузки растяжения-сжатия, прочности сварного шва, выносливости бурильной колонны, износостойкости замковых резьб. В качестве критерия допустимых напряжений принят предел текучести материала труб, коэффициент запаса прочности  $K = 1,5$ . Термохимическое упрочнение профиля резьбы азотированием рекомендовано при изготовлении бурильных труб.

**Ключевые слова:** бурильная труба, замковое соединение, прочность

**Постановка проблемы.** Развитие техники и технологии производства бурильных труб и их соединений для бурения скважин, различных по назначению и конструкций, дало возможность обеспечить надежным и эффективным инструментом горнодобывающую, геологоразведочную, жилищно-коммунальную промышленности. В Украине вместо резьбовых соединений буровых замков с трубами применяют прогрессивную и надежную конструкцию с приваренными замками: исключается изготовление трубной резьбы, сварка является более производительной, чем навинчивание замков с нагревом, исключается замена замков в полевых условиях и т.д.

Бурение скважин на нефть и газ с созданием горизонтальных участков, создание коммуникаций различного назначения в жилых районах городов с помощью горизонтально направленного бурения потребовало повышения качества бурильных труб и их соединений. Поэтому возникла необходимость проводить дополнительные испытания с целью определения эксплуатационных показателей бурильных колонн.

В нормативных документах и опубликованных источниках приведены требования к качеству изде-

лий, методы испытаний и численные значения величин показателей [1, 2, 3].

В настоящей статье приведены методы испытаний бурильных труб различного назначения и их соединений, полученных при изготовлении их для различных условий эксплуатации. Проводились следующие испытания:

– определение допустимой растягивающей нагрузки;

– определение влияния промывочной жидкости, содержащей раствор кислоты, на выносливость труб;

– определение допустимой изгибающей нагрузки на сварной шов бурильных труб с приваренными замками;

– определение средней наработки до отказа тела трубы;

– определение влияния вида упрочнения замковой резьбы на среднюю наработку до отказа.

В качестве критерия прочности материала принято  $0,8\sigma_t$ , величины предела текучести материала трубы.

Величина растягивающего усилия определялась по формуле,  $kH$

$$F = 0.8\sigma_t \cdot 0,785(D^2 - d^2) \cdot 10^{-3},$$

где  $F$  – расчетное значение растягивающей нагрузки, прилагаемой к образцу бурильной трубы, кН;  $\sigma_m$  – предел текучести материала трубы, МПа;  $D$  – наружный диаметр трубы, м;  $d$  – внутренний диаметр трубы, м.

Величина изгибающего момента, приложенного к концу бурильной трубы, определялась по формуле

$$M = F_{и} \cdot 0,5 \cdot l \cdot W_{и} \cdot 0,8 \cdot \sigma_m = F_{и} \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot D^3 \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right] \cdot \sigma_m,$$

где  $F_{и}$  – величина усилия, приложенного к сварному шву бурильной трубы, кН;  $l$  – расстояние между опорами устройства для испытания изгибающего момента, м;  $W$  – момент сопротивления изгибу, м<sup>3</sup>.

Момент сопротивления изгибу бурильной трубы определяется по формуле

$$W = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right] = 0,1 \cdot D^3 \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right].$$

Изгибающий момент при известном расстоянии между опорами задается из расчета, кН

$$F_{и} = M : l.$$

Длительность приложения нагрузки при растяжении и изгибе образцов труб должна быть не менее 5 минут. После снятия нагрузки образец трубы должен принять форму, какую он имел до приложения нагрузки. Если деформации образца не исчезают, то необходимо определить показатели механических свойств и химический состав стали образца и выбрать нагрузки, соответствующие фактическим параметрам материала труб.

**Испытание труб на растяжение.** Основной задачей испытания труб на растяжение является определение допустимого значения осевой нагрузки при бурении скважин вращательным способом.

Испытания проводятся на специальной разрывной машине, выполненной в виде горизонтального гидравлического пресса. Машина имеет стационарную раму со специальными захватами в виде Т-образных упоров для присоединения испытуемых образцов. Машина имеет следующие параметры технических характеристик:

Максимальное усилие растяжения-сжатия, кН(тс)	1100(110);
Длина образцов бурильных труб, м	1,20...3,6;
Диаметр образцов, мм	27...114;
Рабочее давление маслонасоса, МПа(кгс/см <sup>2</sup> )	29(290);
Габаритные размеры, м	4,5x1,2x0,8;
Масса, кг	600.

Растягивающее усилие измеряется электронным манометром, имеющим настройку задаваемого давления (растягивающего усилия), при котором маслонасос отключается. Усилие растяжения задается в соответствии с программой испытаний и выбирается из расчета достижения предела текучести материала  $0,8\sigma_T$ , разрыва трубы или сварного шва.

Испытание проводится на образцах, изготовленных по принятой технологии, в частности, с приваренными замками из материалов с различными механическими свойствами и подвергшимся термохимическому упрочнению и термической обработке. На рис. 1 изображены образцы бурильных труб, имеющих различные виды упрочнения: *a* – соединение резьбовое неупрочненное, аналог; *б* – приваренные замковые элементы с высадкой концов трубы; *в* – труба с приваренными замковыми элементами с гильзой без высадки концов; *г* – с приваренными замками при высадке концов гильзы в виде раструба.

В качестве материалов для изготовления образца принята горячекатаная труба по ГОСТ 8732-78 диаметром 68мм, с толщиной стенки 7мм и диаметром 28мм, с толщиной стенки 7мм. Марка стали 30ХГСА по ГОСТ 8731-87. Приварные замковые детали из круглого проката – сталь марки 40Х ГОСТ 4543-71, подвергшиеся термической обработке с твердостью по Бринеллю НВ = 255...321.

Испытания проводились до разрушения образца – разрыва при максимальном усилии растяжения. Разрушение произошло по телу трубы в виде уменьшения диаметра и разрыва трубы. Сварные швы оказались прочнее материала трубы и не разрушились. Разрушение трубы произошло при усилии 304кН (31,0 тс), то есть напряжения растяжения в момент разрушения составили  $\sigma_p = 494 \text{ МПа} = 1,3\sigma_T$ .

**Испытание труб на изгиб.** Испытание бурильных труб с приваренными замками является альтернативой испытанию на растяжение. Этот способ дает более надежные результаты и возможность вскрыть микротрещины в сварном шве, выявить скрытые дефекты, которые другими способами не определяются. Так при приложении растягивающей нагрузки, соответствующей  $0,8\sigma_T$ , сварной шов не разрушится при наличии микротрещины или недостаточного нагрева металла на площади поперечного сечения до 0,25 от общей площади сварного шва. Однако, при бурении скважины, при возникновении знакопеременных напряжений в сварном шве, произойдет разрушение соединения.

На рис. 2 приведен чертеж приставки к разрывной машине. Приставка состоит из: упора 1, закрепленного с помощью болтов на подвижном поршне гидравлического пресса; пространственной опоры 2, закрепленной на неподвижной стенке пресса; крепежных болтов 3. Образец бурильной трубы в горизонтальном положении опирается на выступы опоры при размещении сварного шва на середине опоры.

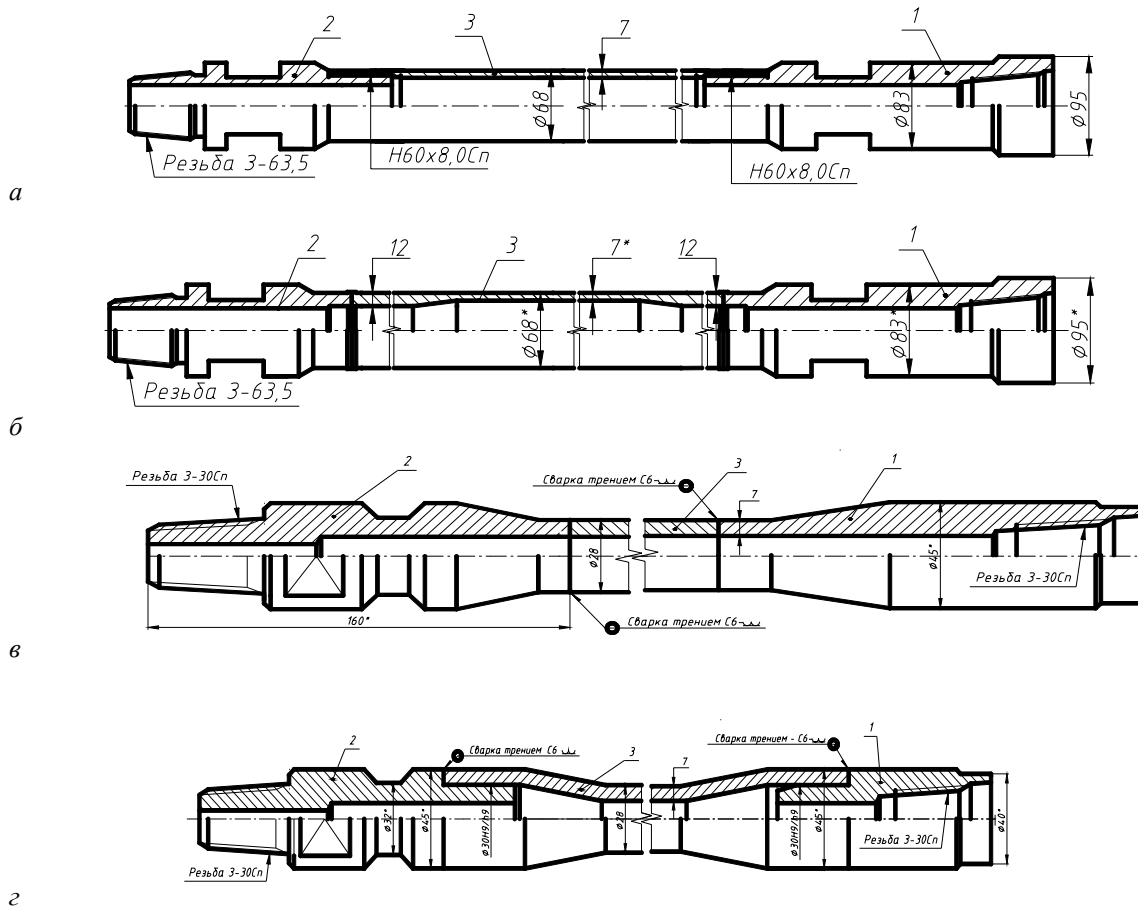


Рис. 1. Образцы труб с резьбовыми и приварными элементами замка при нагревании за счет трения: а – буровая труба замкового соединения с ниппельными резьбами присоединения элементов замка 3-63,5; б – буровая труба замкового соединения с приварными замками 3-63,5; в – буровая труба замкового соединения с высаженными концами труб, замковая резьба 3-30Сп; г – буровая труба замкового соединения с приварными замками и раструбными концами гильз, замковая резьба 3-30Сп; 1 – муфта; 2 – ниппель замка; 3 – гильза; 7 – толщина стенки гильзы; 12 – толщина замка гильзы в месте сварного шва

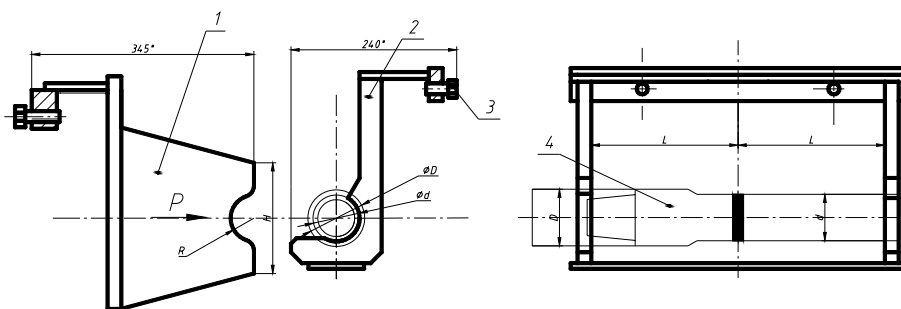


Рис. 2. Приставка к разрывной машине ДЗБО для испытания труб на изгиб: а – вид сбоку, указано положение буровой трубы; б – положение сварного шва относительно точки приложения усилия; 1 – упор; 2 – опора; 3 – болты; 4 – испытуемый образец сварного шва

Испытание на изгиб производится следующим образом. На манометре гидравлического пресса устанавливается предельное давление масла в гидроцилиндре, при котором усилие  $P$  равно величине усилия, определенного из условия достижения напряжений изгиба в теле буровой трубы  $0,8\sigma_T$ . В табл. 1 приведены реко-

мендуемые значения усилия и давления масла в гидроцилиндре разрывной машины ДЗБО для различных размеров буровых труб при группе прочности материала К (предел текучести  $\sigma_T = 500$  МПа).

Испытания буровых труб с приварными замками проводятся путем приложения расчетной на-

грузки в точке нахождения сварного шва (наружный грат удаляется в процессе приварки элементов замка) в трех положениях через  $120^{\pm 5^0}$ . Бурильная труба не должна разрушаться в месте сварного шва и после снятия нагрузки должна принять первоначальное положение без искривления и перекоса оси трубы.

Способ испытания труб при изгибе на „ДЗБО“ применялся в процессе отработки технологии сварки и выбора оптимальных режимов сварки трением. При испытаниях бурильных труб с приваренными замками на оптимальных режимах брак сварного шва выявлен не был.

Таблица 1

Рекомендуемые значения изгибающего момента и усилия при испытании бурильных труб и сварного шва

Показатель	Ед. изм.	Величина показателя для труб при значениях DхS, мм							
		43х4,5	55х4,5	63,5х4,5	70х4,5	80х4,5	73х9	89х9	102х9
Момент сопротивления, W	мм <sup>3</sup>	4850	8480	11780	14400	18430	28900	24670	32900
Изгибающий момент, M <sub>и</sub>	Нм	194	326	471	576	884	560	987	1315
Усилие на упоре, F	кН	13	22	31	38	59	37	66	88
Давление на насосе, p	МПа	34	57	81	100	150	98	170	230

**Испытание бурильных труб на выносливость.**

Государственным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 51245-99 [2] предусмотрены испытания на выносливость путем определения средней наработки до отказа тела трубы, сварного и резьбового соединения при следующих условиях нагружения:

- вид нагружения – усталостное воздействие путем знакопеременного консольного изгиба с вращением;
- частота вращения нагруженного элемента – 1440 об/мин;
- момент затяжки резьбового соединения перед началом нагружения 700...4700 Нм, в зависимости от типоразмера труб;
- изгибающий момент при нагружении 400...3000 Нм, в зависимости от типоразмера трубы.

В [3] приведены методика и описание испытательного стенда, применяемых при проведении исследований и заводских испытаний при разработке и испытании новых конструкций бурильных труб и их соединений. В качестве объектов испытаний использовались следующие конструкции труб, соединений и среды, в которой они эксплуатируются:

- геологоразведочные стальные бурильные трубы муфтово-замкового и ниппельного соединения;
- геологоразведочные трубы с приваренными замками;
- стальные бурильные трубы для горизонтально направленного бурения с приваренными замками;

– в качестве рабочей среды (промывочной жидкости) применялись воздух, техническая вода и вода с добавкой серной кислоты.

ООО „ДЗБО“ разработал колонну бурильных труб для бурения скважин в условиях АО „Волковгеология“ при скважинной добыче твердого полезного ископаемого подземным выщелачиванием. В качестве промывочной жидкости и промышленного агента для растворения солей урана используют сульфатные воды с показателем pH ≤ 4,5...5 [6]. Нами проведены испытания с целью определения оптимального соединения бурильных труб, обеспечивающего максимальную выносливость.

Испытания проводились при следующих параметрах:

- объект испытаний: труба бурильная 68х7 из стали марки 30ХГСА с приварными элементами замка из стали марки 40ХН, сварка выполнена с нагревом деталей трением; аналог – бурильные трубы 68х7 из стали марки 30ХГСА с замками из стали марки 40ХН, свинченными ниппельной резьбой Sp68х5,08;
- частота вращения 450 об/мин;
- изгибающий момент 1,5 кНм создавался грузом, массой 150 кг.

В процессе испытаний выполнялся контроль водородного показателя pH и периодически добавляли серную кислоту для поддержания кислотного показателя не выше pH = 5,0.

В табл. 2 приведены результаты испытаний.

Таблица 2

Результаты сравнительных испытаний бурильных труб с различными соединениями

Тип соединения	Среда	pH	Время испытаний, час	Наработка, цикл	Примечание
Резьба Н60х8	Вода	7,0	16	0,43·10 <sup>6</sup>	Обрыв ниппеля
	Вода+H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,5...5	51	1,38·10 <sup>6</sup>	Обрыв ниппеля
			61	1,6·10 <sup>6</sup>	
Сварка трением	Вода	7,0	223	6,02·10 <sup>6</sup>	Не разрушена
	Вода+H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,5...5	116	3,1·10 <sup>6</sup>	Обрыв по шву
			316	8,5·10 <sup>6</sup>	

По результатам испытаний изготовлена партия бурильных труб 68x7 с приваренными замками с нагревом трением и высадкой концов. По итогам опытного бурения установлено, что ресурс работы колонны увеличился в 2,0 раза при росте показателей бурения: средняя механическая скорость бурения увеличилась в 2,2...2,5 раза, а проходка на долото увеличилась в 1,5...1,8 раза.

**Испытание упрочненной замковой резьбы.** С развитием техники и технологии бурения разведочных, технических, технологических и эксплуатационных скважин при добыче твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых выросли требования к качеству и надежности бурового инструмента, в частности, повышение средней наработки замковой резьбы до отказа. Нарботка должна быть не менее 800 циклов свинчивания-развинчивания для геологоразведочных труб [2]. Техническими условиями на изготовление замковых резьб предусмотрено упрочнение профиля путем индукционной термообработки токами высокой частоты.

ООО „ДЗБО“ производит замки 3-42, 3-50 и 3-63,5 для геологоразведочных труб с упрочнением профиля резьбы токами высокой частоты до твердости 49...57HRC на глубину 3,3...5,0мм. Для замковых резьб нефтяного сортамента и труб для горизонтально направленного бурения применяется термохимическое упрочнение – азотирование на глубину 0,3...0,8мм до твердости  $\geq 450\text{HV}$ .

Для определения фактической наработки резьбы до отказа „ДЗБО“ провел сравнительные испытания образцов замковых резьб 3-35Сп, прошедших различные методы упрочнения профиля резьбы: объемную закалку до твердости  $\text{HB} = 255..321$ , индукционную ТВЧ до твердости  $\text{HRC} = 49..57$  и термохимическую до твердости 450HV.

На рис. 3 приведен чертеж приставки к трубопороту ПО-49А, входящей в состав стенда для определения средней наработки резьбы на отказ замков 3-42, 3-50 и 3-63,5 в соответствии с требованиями ГОСТ 7918-75. Приставка состоит из стакана 1, закрепленного на опоре нижней 3 с помощью болтов 8 и гаек 9, опора лысками входит в прорези подкладной вилки. К опоре нижней, имеющей муфтовую резьбу 3-35Сп, присоединен ниппель 5, имеющий наружные резьбы на обоих концах, верхний конец соединен с удлинителем 2, имеющим муфтовую резьбу 3-35Сп.

В стакан заливают глинистый раствор нормального качества, в который добавляют до 5% кварцевого песка зернистостью 0,1...0,2мм. К верхнему удлинителю прикреплен груз, равный массе буровой свечи. Испытания проводили путем вращения системы резьб при свинчивании и развинчивании пары резьб, имеющих одинаковую твердость профиля резьбы. Вторая пара резьб, ниппеля и муфты, была затянута с большим моментом и не вращалась. Затем меняли пару резьб по назначению: первую пару свинчивали с большим моментом, а вторую – свинчивали и развинчивали до окончания испытаний.

Оценку качества упрочнения проводили путем сравнения износа профиля резьб за время испытаний.

Количество циклов (время испытаний) было одинаковым, а оценка относительного качества упрочнения принята по остаточному зазору между упорным торцом муфты и упорным уступом ниппеля, то есть по изменению натяга резьбы. В качестве аналога принята резьба, подвергшаяся индукционной обработке токами высокой частоты.

В результате испытаний было установлено следующее:

- количество циклов свинчивания-развинчивания было одинаковым для всех образцов резьб (три пары) и составляло 900...940 циклов;

- уменьшение расстояния L между торцом и уступом составило: для резьб с упрочнением ТВЧ  $L = 32 - 25 = 7$  мм; для резьб с объемной закалкой  $L = 32 - 15 = 17$  мм; для резьб, упрочненных азотированием  $L = 32 - 22 = 10$  мм;

- после испытаний все резьбы были изношены незначительно и могут использоваться при бурении скважин.

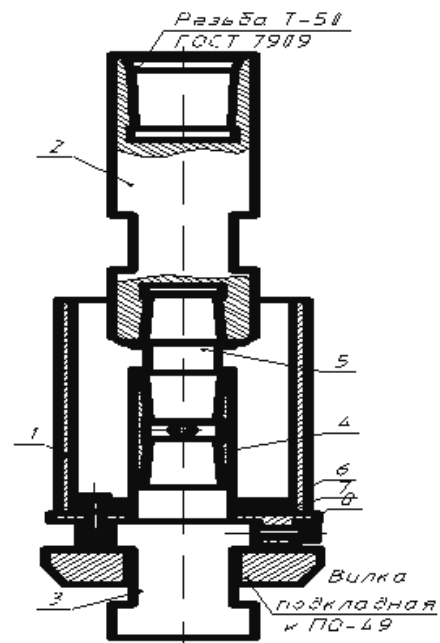


Рис. 3. Приставка к стенду для определения средней наработки замковой резьбы на отказ: 1 – стакан; 2 – удлинитель; 3 – опора нижняя; 4 – муфта; 5 – ниппель; 6 – диск; 7 – прокладка; 8 – болты; 9 – гайки

#### Выводы и предложения:

1. При разработке бурильных труб с приваренными замками необходимо проводить испытание на изгиб до достижения напряжений изгиба в сварном шве до 0,8 $\sigma_s$  вместо растяжения.

2. В результате испытаний образцы должны принять первоначальную форму, что свидетельствует о том, что напряжения в металле не достигли предела текучести и образец выдержал испытание.

3. Термохимическое упрочнение профиля резьбы азотированием незначительно уступает индукционной обработке резьбы ТВЧ и может применяться при изготовлении буровых замков.

**Список литературы / References**

1. *ГОСТ 5286-75* Замки для бурильных труб. Из-во стандартов. 1976, М.; – 24 с.  
*GOST 5286-75* Drill pipe joint. Izdatelstvo Standartov. 1976, M.: – 24 p.
2. *ГОСТ Р 51245-99* Трубы бурильные стальные универсальные. Общие технические условия. Госстандарт России. М.; – 12 с.  
*GOST P 51245-99* Steel universal drill pipes. General technical requirements. Gosstandart Rossii. M.: – 12 p.
3. *Бурильные трубы геологоразведочного сортамента*. Монография. / Дудля Н.А., Виктор Г.Н., Кириченко Г.Н., Островский И.Р. – Днепродзержинск, Издательский дом „Андрей“, 2007. – 207 с.  
*Drill pipes of geological prospecting assortment*. Monograph / Dudlya N.A., Viktorov G.N., Kirichenko G.N., Ostrovskiy I.R. – Dneprodzerzhinsk, Publishing House “Andrey”, 2007. – 207 p.
4. *Госгортехнадзор России*. „Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности“. Утверждены Госгортехнадзором России 14.12.1992. – М.: НПО ОБТ, 1993. – 130 с.  
*Gosgortekhnadzor of Russia*. “Safety Regulations in Oil and Gas Industry”. Approved by Gosgortekhnadzor of Russia on December 14, 1992. – M.: NPO OBT, 1993. – 130 p.
5. *Мислюк М.А.* Буріння свердловин. Том перший. Загальні відомості. Бурові установки. Обладнання і інструмент. / Мислюк М.А., Рибчич І.Й., Яремійчук Р.С. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. – 540 с.  
*Mysliuk M.A.* Well-drilling. Volume 1. Overview. Drilling rigs. Equipment and tools. / Mysliuk M.A., Ryb-

chych I.Y., Yaremiichuk R.S. – K.: Interpress Ltd., 2002. – 540 p.

6. *Калавин А.И.* Добыча полезных ископаемых подземным выщелачиванием. / Калавин А.И. – М.: Атомиздат, 1996. – 369 с.

*Kalavin A.I.* Minerals production by underground leaching. / Kalavin A.I. – M.: Atomizdat, 1996. – 369 p.

Проведено випробування бурильних труб з метою визначення експлуатаційних показників: допустимого навантаження розтягування-стискання, міцності зварного шва, витривалості бурильної колони, стійкості замкових різьб. Критерієм допустимих напружень є гранична текучість матеріалу труб, коефіцієнт запасу міцності  $K = 1,5$ . Термохімічне зміцнення профілю різьби азотуванням рекомендовано при виготовленні бурильних труб.

**Ключові слова:** бурильна труба, замкове з'єднання, міцність

Drill pipe test main purpose is estimating performance parameters: strain load limit, strength of welded seam, drill string durability, wear resistance. Limit load criteria is material yield strength, load factor  $K = 1,5$ . Thermochemical strengthening of thread profile by the method of nitriding is recommended for production of drill pipes.

**Keywords:** drill pipe, lock joint, durability

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Р.П. Дідіком. Дата надходження рукопису 29.03.11

Государственное предприятие „Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии“, г. Желтые Воды, Украина, e-mail: runasha@mail.ru

УДК. 625.144.5 (088.8)

**В.З. Дятчин, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.,  
Р.В. Шумейко**

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДБОЙКИ ШПАЛОПОДБИВОЧНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

**V.Z. Dyatchin, Cand. Sci. (Tech.),  
R.V. Shumeyko**

State Enterprise Ukrainian Scientific R&D Institute of Industrial Technology, Zheltye Vody, Ukraine, e-mail: runasha@mail.ru

## SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF TAMPING MECHANISM OF TAMPING VIBRATORY PLANT

Проведены аналитические исследования подбивочного механизма существующих шпалоподбивочных вибрационных установок и выявлены его недостатки. Предложена новая математическая модель процесса подбивания. Установлено, что эффективность работы установки зависит не только от формы профилированных направляющих поверхностей шпалоподбоек, но и от места расположения отклоняющего ролика относительно оси вращения шпалоподбойки. Предложен способ усовершенствования шпалоподбивочного механизма, который позволит повысить производительность шпалоподбивочной вибрационной установки.

**Ключевые слова:** шпалоподбивочная вибрационная установка, балластный материал, рельсовый путь, шпалы

**Актуальность проблемы.** Для механизации операций подбивки балластного материала под шпа-

лы шахтных рельсовых путей колесей 750 мм, повышения их качества и надежности при строительстве и ремонте, а также снижения трудоемкости ручного труда разработаны шпалоподбивочные вибрационные установки УШПВ-750 и УШПВ-750ЭГ [1–3].