

БУЛАТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

**Материалы II Международной
научно-практической конференции
(31 марта 2018 г.)**

Зарегистрировано в Национальном агентстве ISSN
Российской Федерации 27.07.2017

ISSN 2587-8913

Том 2

Часть 1:

**РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Сборник статей

Краснодар
2018

УДК 622.1+622.323
ББК 33.1+33.36
Б90

Б90 Булатовские чтения : материалы II Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 г.) : в 7 т. : сборник статей / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг.

Т. 2 в 2 ч.: Разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2018. – Ч. 1. – 256 с.

Сборник содержит материалы II Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения», проведенной в г. Краснодаре 31 марта 2018 г., посвященной памяти выдающегося инженера-нефтяника, доктора технических наук, профессора, академика Анатолия Ивановича Булатова.

Участники конференции дали всестороннюю характеристику развития нефтегазовой отрасли, проанализировали применяемые на сегодняшний день методы, технику и технологии и сделали предложения по их модернизации; выработали рекомендации по дальнейшему развитию прикладных направлений научных исследований; внесли предложения по совершенствованию кадрового обеспечения и международному сотрудничеству.

В сборнике изложены результаты исследовательских и опытно-конструкторских работ по широкому кругу вопросов, а также рассмотрены актуальные вопросы и проблемы освоения углеводородного потенциала Российской Федерации и зарубежных стран. Решение поставленных задач отражено в создании новых технологий разработки нефтегазовых месторождений, добычи, транспортировки и переработки углеводородного сырья. Широко представлены вопросы истории и современного состояния нефтегазового комплекса, подготовки кадров, разработки и внедрения энергетического и технологического оборудования, экономических и правовых исследований.

Научное издание предназначено для докторов и кандидатов наук различных специальностей, преподавателей вузов, докторантов, аспирантов, магистрантов, практикующих специалистов, студентов учебных заведений, а также всех, проявляющих интерес к рассматриваемой проблематике с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

Издание выполнено в виде 7 томов, соответствующих тематическим направлениям работы конференции.

Материалы публикуются в авторской редакции. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

ББК 33.1+33.36
УДК 622.1+622.323

© Коллектив авторов, 2018
© ООО «Издательский Дом – Юг», 2018

READINGS OF A.I. BULATOV

**Materials of II International
scientific and practical conference
(on March 31, 2018)**

It is registered in the National agency ISSN of
the Russian Federation 07.27.2017

ISSN 2587-8913

Volume 2

Part 1:

**DEVELOPMENT OIL AND GAS
FIELDS**

Conference bulletin

Krasnodar
2018

UDC 622.1+622.323
BBC 33.1+33.36
Б90

Б90 Readings of A.I. Bulatov : Materials of II International scientific and practical conference (On March 31, 2018) : in 7 v. : Conference bulletin / Under the general editor, Doctor of Technical Sciences, Professor O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing House – South.

V. 2 in 2 part: Development oil and gas fields. – 2018. – Part 1. – 256 p.

The Conference bulletin contains materials of the II International scientific and practical conference «Readings of A.I. Bulatov» held in Krasnodar on March 31, 2018 devoted to memory of the outstanding oil engineer, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician Anatoly Ivanovich Bulatov.

Participants of the Conference gave a comprehensive characteristic of the development of oil and gas fields, analysed the methods applied today, the equipment and technology and made offers on their modernization; developed recommendations about further development of applied scientific research; made offers on improvement of staffing and the international cooperation.

In the Conference bulletin results of research and developmental works on a wide range of questions are stated and also topical issues and problems of development of hydrocarbon capacity of the Russian Federation and foreign countries are considered. The solution based on the objectives is reflected in creation of new technologies of development of oil and gas fields, production, transportation and processing of hydrocarbon raw materials. Questions of history and the current state of an oil and gas complex, training, development and deployment of power and processing equipment, economic and legal researches are widely presented.

The scientific publication is intended for doctors and candidates of science of various specialties, teachers of higher education institutions, doctoral candidates, graduate students, undergraduates, practicing experts, students of educational institutions and also everyone, showing interest in the considered perspective for the purpose of use in scientific work and educational activity.

The edition is executed in 7 volumes corresponding to the thematic areas of the Conference.

Materials are published in author's original form as they were presented. Authors bear the reliability and responsibility of the data stated in the articles.

Editorial opinion can not coincide with opinion of authors of articles. It is obligatory that all materials cited are referenced.

BBC 33.1+33.36
UDC 622.1+622.323

© Group of authors, 2018
© LLC «Publishing House – South», 2018



ОГЛАВЛЕНИЕ

TABLE OF CONTENTS

РАЗРАБОТКА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

DEVELOPMENT OIL AND GAS
FIELDS

| | |
|---|----|
| Аббасов А.А. оглы, Сулейманов А.А. оглы, Аббасов Э.М. оглы, Новрузалиев Б.Ф. оглы Оптимизация режима работы газлифтных скважин на основе устьевой информации | 23 |
| Abbasov A.A., Suleymanov A.A., Abbasov E.M., Novruzaliyev B.F. Optimization of an operating mode of gas-lift wells on the basis of estuarial information | |
| Аббасова С.В. Диагностирование зон неподверженных процессу дренажа | 29 |
| Abbasova S.V. Diagnostics of zones undisclosed by the drainage process | |
| Абдуллаева Э.С. кызы Повышение нефтеотдачи пласта путем восстановления проницаемости призабойной зоны скважин | 32 |
| Abdullayeva E.S. Enhanced oil recovery through restoration of the bottomhole zone permeability | |
| Абдулхаков Р.Р., Захарова Е.Ф. (научный руководитель) Некоторые аспекты оценки ГТМ на нагнетательном фонде длительно эксплуатируемых объектов | 35 |
| Abdulhakov R.R., Zaharova E.F. (Scientific adviser) Some aspects of the geological and technical measures on the injection fund of long-running wells | |
| Алиев А.М. оглы, Сардарова И.З. кызы К вопросу экспериментальных исследований в газлифтных скважинах | 39 |
| Aliyev A.M., Sardarova I.Z. To the issue of experimental researches in gas-lift wells | |
| Амирова Г.Р., Гайнетдинов Р.Х. Обоснование системы разработки пласта Ач месторождения N | 41 |
| Amirova G.R., Gainetdinov R.K. Justification of system of development of ACh layer of the field N | |
| Арсланов И.Р., Гусарова Е.И., Телин А.Г. Разработка водоизолирующего состава на основе органоминерального комплекса для проведения ремонтно-изоляционных работ | 44 |
| Arslanov I.R., Gusarova E.I., Telin A.G. Development of water shut-off composition on the basis of the organo-mineral complex for squeeze | |
| Арсланов А.Р., Иксанов И.М. Исследования на пропантной пачке Туронской залежи при моделировании гидравлического разрыва пласта | 47 |
| Arslanov A.R., Iksanov I.M. Research on enhancement packs Turonian deposits in the modeling of hydraulic fracturing | |
| Аскерова Р.И. О волновом воздействии на морские гидротехнические сооружения | 51 |
| Askerova R.I. About wave impact on marine hydrotechnical structures | |
| Ахмед Ф.Ф. Контроль песка ферроцементной композицией при разработке месторождений сложенных слабосцементированными пластами | 54 |
| Ahmed F.F. Sand control by ferrocement composition in the development of deposits composed of weakly cemented layers | |



| | |
|---|-----|
| Ахмедов З.М., Гулгезли А.С., Ахмедов А.С. О выделении песка в пластах при эксплуатации нефтяных скважин с помощью глубинных насосов | 60 |
| Akhmedov Z.M., Gulgezli A.S., Akhmedov A.S. About release of sand in layers at operation of oil wells by means of deep pumps | |
| Баландин Л.Н., Грибенников О.А., Свиридова И.А. Текущее состояние работы добывающих скважин в зависимости от забойных давлений | 65 |
| Balandin L.N., Gribennikov O.A., Sviridova I.A. Current state of work of producing wells depending on BHP | |
| Баспаев Е.Т., Аяпбергенов Е.О., Рзаева С.Д. Выбор жидкости глушения скважин для условий месторождения Узень | 70 |
| Baspayev Ye.T., Ayapbergenov Ye.O., Rzayeva S.J. The choice of liquid of muffling of wells for field Uzen conditions | |
| Березовский Д.А., Кусов Г.В. Определение расчётных показателей процесса солянокислотной обработки в скважине № 23 Южно-Шапкинское месторождения | 76 |
| Berezovskiy D.A., Kusov G.V. Determination of the calculating indicators of the process by hydrochloric acid in well № 23 of the Yuzhno-Shapkinskoye field | |
| Будкевич Р.Л., Насыров И.М., Хасаншин Д.З. Анализ перспективных технологий улучшения многостадийного гидроразрыва пласта | 88 |
| Budkevich R.L., Nasyrov I.M., Khasanshin D.Z. Analysis of advanced technologies for improving multistage hydraulic fracturing | |
| Будкевич Р.Л., Шайхразиева Л.Р. Исследование свойств поверхностно-активных веществ для интенсификации добычи высоковязкой нефти | 91 |
| Budkevich R.L., Shaihrazieva L.R. Investigation of the properties of surfactants for the intensification of production of high-viscosity oil | |
| Буркова А.А. Определение источников обводнения добываемой углеводородной продукции | 94 |
| Burkova A.A. Determination of sources of watering of produced hydrocarbon products | |
| Буркова А.А. Пароциклическое воздействие на призабойную зону пласта | 98 |
| Burkova A.A. Cyclic steam impact on the bottomhole formation zone | |
| Гаджиев А.А. О перспективах доработки низкопроницаемых зон | 105 |
| Gadzhiev A.A. About the prospects of further development of low-permeability zones | |
| Гаджиев А.А., Шафиев Т.Х. Исследование вытеснения нефти газом и водогазовыми смесями в однородной и слоисто-неоднородной средах | 107 |
| Gadzhiev A.A., Shafiyev T.H. Study on gas and gas-and-water oil displacement using various version water-gas blends in homogeneous and heterogeneous porous medium | |
| Гайсин А.В., Фаресов А.В. Исследования эффективности ингибиторов асфальтосмолопарафиновых отложений | 111 |
| Gaysin A.V., Faresov A.V. The study of the effectiveness of inhibitors asphalt-resin-paraffin deposits | |
| Гайсин А.В., Фаресов А.В. Борьба с асфальтосмолопарафиновыми отложениями в нефтегазовой отрасли | 114 |
| Gaysin A.V., Faresov A.V. Fight against asphalt and paraffin deposits in oil and gas industry | |
| Галимова А.А., Муслимов Б.Ш. Методика экспресс-оценки эффективности подземного хранения газа | 118 |
| Galimova A.A., Muslimov B.S. Methodology of express-estimation of efficiency of underground storage of gas | |



- Гасанов Р.А., Бекиров Ш.Х., Гасымова Т.М., Рамазанов Ф.Х., Зейналов А.И.**
Распознавание состава тампонажного раствора соответствующего его оптимальным свойствам ... 126
Gasanov R.A., Bekirov Sh.Kh., Gasymova T.M., Ramazanov F.Kh., Zeinalov A.I.
Recognition of composition of grouting solution corresponding to its optimum properties
- Гасумов Р.А.**
К вопросу об определении положения водонефтяного контакта при освоении малых месторождений (на примере Журавско-Воробьевского нефтяного месторождения) 131
Gasumov R.A.
On the issue of water-oil contact localization in the development of small fields (by example of the Zhuravsko-Vorobyevskoye oil field)
- Головин Н.А., Малышев В.Л.**
Исследование особенностей опробования и последующей выработки запасов нефти в линзовидных коллекторах 137
Golovin N.A., Malyshev V.L.
Research of features of approbation and following oil reserves in linzedic collectors
- Грибенников О.А., Шумахер М.Ю., Рудь О.Н.**
Вопрос оптимизации работы УЭЦН на примере Бобровского месторождения «Оренбургнефть» 144
Gribennikov O.A., Shumakher M.Y., Rudi O.N.
Question of optimization of ESP operation on the example of Bobrovskoye deposit «Orenburgneft»
- Гусейнова Н.И.**
Определение направления и скорости движения закачиваемой в продуктивный горизонт жидкости путем расчета гидродинамических показателей пластового потока 149
Huseynova N.I.
Determination of the injection fluid's direction and speed in the productive horizon by calculating the hydrodynamic parameters of the formation flow
- Гусейнова Д.Ф.**
Оценка степени дренируемости нефтяной залежи в условиях недостаточности информации 152
Guseynova D.F.
Assessment of degree of drainability of the oil pool in the conditions of insufficiency of information
- Давлетшин Д.Ф., Мратшин А.Б., Фаресов А.В.**
Подбор ингибитора коррозии для условий эксплуатации объекта Арктического шельфа 156
Davletshin D.F., Mratshin A.B., Faresov A.V.
Selection of a corrosion inhibitor for the operating conditions of an Arctic shelf facility
- Дементьев В.Б., Иванова Т.Н., Коршунов А.И.**
Исследования физико-механических характеристик штанг глубиннонасосного оборудования при их изготовлении 159
Dementiev V.B., Ivanova T.N., Korshunov A.I.
The study of physical-chemical characteristics of sucker rods of downhole equipment during their manufacturing
- Долгих Р.С., Машкин В.А., Суворов И.Ф., Забелин В.О.**
Автоматизация бизнес-процессов производства, контроля и анализа на предприятии 164
Dolgikh R.S., Mashkin V.A., Suvorov I.F., Zabelin V.O.
Automation business processes, control and analytics in the enterprise
- Еремеев И.В., Кохляков А.В., Малая А.Р.**
Оценка факторов, влияющих на эффективность системы поддержания пластового давления путем применения водогазового воздействия 168
Yeremeyev I.V., Kokhlyakov A.V., Malaya A.R.
Assessment of the factors influencing system effectiveness of maintenance of reservoir pressure by application of water gas influence
- Захарченко Е.И., Захарченко Ю.И.**
Применение марковских моделей к анализу разработки нефтегазовых месторождений и оценке дебитов скважин 170
Zakharchenko E.I., Zakharchenko Yu.I.
Application of Markov models to the analysis of development oil and gas fields and assessment of outputs of wells



- Ибрагимов Х.М., Гусейнов Ш.Ш.**
Промышленное испытание термохимического реагента
с целью очистки призабойной зоны скважины 173
Ibragimov H.M., Guseynov Sh.Sh.
Field test of a thermochemical reagent for cleaning well bottomhole zone
- Казанчева А.Н., Сорокин П.М.**
Применение колтюбинга в нефтегазовой отрасли 176
Kazancheva A.N., Sorokin P.M.
Coiled tubing application in the oil and gas industry
- Казетов С.И.**
Метод проектирования оптимального технологического режима
и типоразмера штанговнасосного оборудования 180
Kazetov S.I.
Method of designing optimal operation practices and rod pumping equipment
- Казымов Ш.П. оглы, Гаджикеримова Л.Г. гызы**
Повышения эффективности работы глубинных штанговых насосов 183
Kazymov Sh.P., Gadzhikerimova L.G.
Deep-water sucker-rod pump efficiency
- Кашапов Л.Э., Тараканов А.К.**
Подбор оптимальной длины горизонтальной скважины
с помощью статистического моделирования на основе показателей разработки 186
Kashapov L.E., Tarakanov A.K.
Selection of optimum length of the horizontal well
by means of statistical modeling on the basis of development indicators
- Нвизуг-Би Лейи Клуверт, Савенок О.В.**
Обзор по разработке месторождений битума и тяжелой нефти в Нигерии 194
Nwizug-bee Leyii Kluivert, Savenok O.V.
Review on development of bitum and heavy oil deposits in Nigeria
- Краснов В.Г., Степаненко А.С.**
Предложение энергосберегающей технологии при разработке тяжелых нефтей 198
Krasnov V.G., Stepanenko A.S.
Suggestion on an energy saving technology for heavy oils extracting process
- Круглов Д.С., Телков В.П.**
Оценка релевантности методик расчета дебита горизонтальной скважины
с многозонным гидравлическим разрывом пласта
при помощи гидродинамического моделирования 200
Kruglov D.S., Telkov V.P.
Estimation of the adequacy of methods for calculating the production rate of a horizontal well
with multi-zone hydraulic fracturing of a formation using hydrodynamic modeling
- Кулюкин М.В., Сапронов Н.М., Рыбальченко Ю.М.**
Применение комплексных методов увеличения нефтеотдачи пластов 207
Kulyukin M.V., Sapronov N.M., Rybalchenko Yu.M.
The use of complex methods of increasing oil recovery
- Кязимов Ф.К. оглы, Рзаева С.Д. кызы, Тулешева Г.Д.**
Экспериментальные исследования кислотного воздействия на неоднородные пласты 210
Kyazimov F.K., Rzayeva S.C., Tulesheva G.D.
Experimental study of the acid impact on heterogeneous formations
- Ладенко А.А.**
Очистка от отложений солей 216
Ladenko A.A.
Cleaning of from deposits of salts
- Ленченкова Л.Е., Саманов А.Ш.**
Исследование осадка, образующегося при растворении кернов в соляной кислоте 219
Lenchenkova L.E., Samanov A.S.
The sediment formed examination by dissolving the core in hydrochloric acid
- Ленченкова Л.Е., Саманов А.Ш.**
Исследование поверхностного натяжения
на границе кислотного состава и углеводородной фазы 221
Lenchenkova L.E., Samanov A.S.
Investigation of surface tension at the boundary between the acid and the hydrocarbon phase



| | |
|---|-----|
| Лешкович Н.М. Совершенствование техники и технологии определения негерметичных муфтовых соединений и сквозных повреждений обсадных колонн на нефтяных месторождениях с большим газовым фактором | 223 |
| Leshkovich N.M. Improvement of technique and technology for determining leaky couplings and through-hole casing damage in oil fields with a large gas factor | |
| Мажник В.И., Лешкович Н.М. Совершенствование технологий борьбы с АСПО на Ванкорском месторождении | 227 |
| Mazhnik V.I., Leshkovich N.M. Improvement of technologies to combat asphalt-tar-paraffin deposits in the Vankorskoye field | |
| Мажник В.И., Лешкович Н.М., Полищук Д.А. Расчёт экономической эффективности применения аппаратов «ШТОРМ УКМ НП» как одного из методов борьбы с АСПО на Ванкорском месторождении | 233 |
| Mazhnik V.I., Leshkovich N.M., Polischuk D.A. Calculation of economic effectiveness of applications of «STORM UKM NP» devices as any of the methods to combat asphalt-tar-paraffin deposits on the Vankorskoye field | |
| Малая А.Р., Кохляков А.В., Еремеев И.В. Влияние минерализации воды на устойчивость водонефтяных эмульсий башкирских нефтей | 238 |
| Malaya A.R., Kokhlyakov A.V., Yermeyev I.V. Influence of a mineralization of water on stability of water oil emulsions Bashkir oils | |
| Мальшаков Е.Н., Демяненко Н.А., Хорюшин В.Ю. Результаты ОПР по водогазовому воздействию на Восточно-Перевальном месторождении | 241 |
| Malshakov E.N., Demyanenko N.A., Horyushin V.Yu. Results of skilled and trade works on water gas influence on East Perevalny field | |
| Мамедова М.А. Исследование параметров призабойной зоны трещинных пластов при неустановившемся режиме | 252 |
| Mamedova M.A. Research of parameters of the bottomhole zone of fracture layers at the unsteady mode | |



УДК 25.00.17

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШТАНГ ГЛУБИННОНАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ

THE STUDY OF PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SUCKER RODS OF DOWNHOLE EQUIPMENT DURING THEIR MANUFACTURING

Дементьев Вячеслав Борисович

доктор технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт механики ФГБУН
Удмуртский федеральный
исследовательский центр УрО РАН

Иванова Татьяна Николаевна

доктор технических наук, доцент,
Удмуртский государственный университет
tatnic2013@yandex.ru

Коршунов Александр Иванович

доктор технических наук, профессор,
Институт механики ФГБУН
Удмуртский федеральный
исследовательский центр УрО РАН

Аннотация. В работе предложена новая технология изготовления штанг из низкоуглеродистых сталей. В результате теоретических исследований и опытно-промышленных испытаний получены штанги с высокими механическими свойствами, соответствующими классам К, D ГОСТ 13877-80, группе В ГОСТ 14955-77 и международному стандарту API Spec 11 В. Рекомендованы к производству по предлагаемой технологии штанги ШН19, ШН22, ШН25 длиной от 1000 до 9140 мм с механическими свойствами $\sigma_{0,2min}$ 586 МПа, σ_B 790–960 МПа и работой их в коррозионно-активной среде.

Механические свойства металлов зависят и от прочности межатомной связи, и от строения кристаллической решетки, величины зерна, количества, формы и распределения фаз в сплаве. В работе проведены исследования роста зерен материала трубы из-за продолжительного нагрева, выявлен эффект общего измельчения (фрагментации) структуры и дисперсионное упрочнение, рекомендованы режимы изготовления. Получены зависимости деформации, влияющие на величину зерен металла от пределов текучести, прочности, пластичности и температуры электроотпуска. Установлено, что с увеличением степени деформации происходит повышение пределов текучести и прочности, и уменьшение пластичности. Уменьшение температуры электроотпуска приводит к снижению предела текучести стали, что облегчает сдвиговые процессы в зернах металла. Это позволяет регулировать режимы электроотпуска и варьировать характеристики пластичности, прочности и получить оптимальные механические свойства штанг для увеличения надежности глубиннонасосного оборудования.

Dementiev Vyacheslav Borisovich

Doctor of Engineering,
Senior Research Associate,
Institute of Mechanics, the Ural Branch of the
Russian Academy of Sciences

Ivanova Tatyana Nikolaevna

Doctor of Engineering, Associate Professor,
Udmurt state university
tatnic2013@yandex.ru

Korshunov Alexander Ivanovich

Doctor of Engineering, Professor,
Institute of Mechanics, the Ural Branch of the
Russian Academy of Sciences

Annotation. New technology of sucker rod manufacturing from low-carbon steels is proposed in this work. As a result of theoretical research and pilot testing, sucker rods obtained have high mechanical properties that correspond to K, D classes of GOST 13877-80 as well as group B of GOST 14955-77. In addition, they comply with international standard APISpec 11 B. This technology is recommended to be used while producing sucker rods ШН19, ШН22, ШН25, which length is 1000-9140 millimeters, their mechanical properties being $\sigma_{0,2min}$ 586 MPa, σ_B 790–960 MPa. Moreover, this technology is advised for sucker rods operating in corrosive conditions. Mechanical properties of metals depend on strength of interatomic bond, lattice structure, grain size, quantity, shape and distribution of phases in alloy. Research on grain growth of pipe material under continuous heating was carried out in this work. Effect of overall grinding (fragmentation) of structure and dispersion hardening was observed, modes of manufacturing were recommended. Dependences of deformation that influence grain size according to yield stress, durability, plasticity and temperature of electric tempering. It was determined that by increasing deformation degree, yield stresses and durability grow, plasticity decreases. Drop in temperature of electric tempering leads to decrease in yield stress, that simplifies shear processes in metal grains. It allows electric tempering modes to be regulated. At the same time, it gives an opportunity to change plasticity and durability characteristics as well as provide optimum mechanical properties for sucker rods in order to increase reliability of downhole equipment.



Ключевые слова: насосная штанга, технология изготовления, прочность, надежность, горизонтально-ковочная машина, электроотпуск.

Keywords: sucker rod, tubing string, manufacturing technology, durability, reliability, horizontal forging machine.

Анализируя технические решения и технологии повышения работоспособности глубиннонасосного оборудования, было выявлено, что одним из резервов повышения износостойкости, прочности и надежности глубинных штанговых насосов и насосно-компрессорных труб является технология их изготовления [1–5].

Типовая технология изготовления насосных штанг из низкоуглеродистых сталей 20Н2М, 15Х2ГМФ, 20ХГНМ и др. включает: штамповку головок на горизонтально-ковочных машинах ГКМ, нормализацию штанги и последующую механическую обработку головок, которые соответствуют геометрическим размерам и прочностным свойствам ГОСТ 13877-80. Данная технология не обеспечивает высокий уровень прочностных свойств, что ведет к частным обрывам и заменам штанг.

Известен также способ, включающий: штамповку головок на ГКМ, нормализацию штанги, механическую обработку головок, поверхностную закалку токами высокой частоты ТВЧ или объемную закалку с последующим высоким отпуском, обеспечивающий повышенные прочностные свойства (классы К, D) соответствующие ГОСТ 13877-80. Данный способ усложняет технологию за счет применения специальных печей для нагрева под закалку и отпуск длинных штанг, более трудоемкий и кроме того требует больших площадей, обслуживающего персонала и увеличивает расходы электроэнергии и другие методы, обеспечивающие повышение характеристик [5].

Для повышения характеристик прочности, пластичности низкоуглеродистых сталей и снижении трудоемкости изготовления и ремонта штанг предлагается: штамповка головок на ГКМ, электроотпуск при температуре 480–500 °С, правка – растяжением с усилием (0,3 ... 0,5) $\sigma_{0,2}$, упрочнение штанги на участке 300–500 мм от головки путем обкатки профильными роликами, обеспечивающие контактные напряжения (0,7 ... 0,8) $\sigma_{0,2}$ при осевой подаче 8–9 м/мм за счет разворота обкатывающих роликов. Для этого после высадки головок на ГКМ штангу подвергают электроотпуску при температуре 480–500 °С с выдержкой 15–20 мин для придания материалу штанги равнопрочного состояния по всей длине. Затем проводят правку – растяжением при температуре 180–200 °С с усилием (0,3 ... 0,5) $\sigma_{0,2}$. При этом закрепление штанги происходит за квадратную часть головки, что позволяет выдержать прямолинейность тела штанги относительно головок. Затем проводится упрочнение галтели с прилегающим участком штанги 300–500 мм, т.е. переходной зоны термического влияния, возникающей при штамповке головок. Упрочнение осуществляется вращающейся головкой с тангенциальным перемещением роликов по радиусу галтели. Усилие обкатки (0,7 ... 0,8) $\sigma_{0,2}$ обеспечивается скоростью вращения головки, а разворот обкатывающих роликов относительно оси тела штанги обеспечивает продольную подачу штанги 8–9 м/мин [6].

В результате наших опытно-промышленных испытаний проведение технологических операций в данной последовательности и с режимами обработки по предлагаемому способу позволяет получить штанги из низкоуглеродистых сталей с высокими механическими свойствами, соответствующими классу D, и дает возможность их использовать в коррозионно-активной среде. Термическая обработка 480–500 °С проводится для релаксации остаточных напряжений, стабилизации структуры и механических свойств металла штанги. Данная температура выбрана из условия температуры отпуска для низкоуглеродистых сталей, поставляемых в нормализованном или улучшенном состоянии. Используя электроскоростной нагрев можно снизить температуру отпуска на 100–150 °С. Установлено, что при более низкой температуре (ниже 480–500 °С) происходит снижение предела прочности и предела пластичности металла. Так как в низкоуглеродистых сталях содержится небольшое количество легирующих элементов (никеля, хрома, марганца, молибдена), то обеспечивается высокая прокаливаемость штанги и не требуется высоких скоростей охлаждения, достаточно охлаждения штанг на воздухе. Время выдержки при электроотпуске установлено экспериментально равным 15–20 мин., что является достаточным при релаксации напряжений и стабилизации структуры и механических свойств металла. При выдержке менее 15 мин. структура металла штанги остается неоднородной, что ведет к дополнительному искривлению тела штанги. Выдержка более 20 мин. нецелесообразна, потому что дальнейшее улучшение по геометрическим характеристикам и по структуре ферритно-перлитной смеси не наблюдается. Твердость при этом соответствует 277–286 НВ.

Подстуживание штанги до 180–200 °С после отпуска перед правкой – растяжением необходимо по причине перехода зоны хрупкости при средних температурах 250–400 °С и возможности проведения правки – растяжения не нарушая сплошности металла. Правка выше 200 °С может привести к разрушению при пороге хрупкости при среднем отпуске, а правка ниже 180 °С нежелательная из-за образования микротрещин на поверхности тела штанги, что в дальнейшем послужит концентратором напряжений. Поэтому по стандарту API правка в холодном состоянии не допускается. Правка штанг проводится при усиллии (0,3 ... 0,5) $\sigma_{0,2}$ с выдержкой 50–70 с., что обеспечивает геометрические характеристики штанги в со-



ответствии с группой В ГОСТ 14955-77: параметр шероховатости Ra 1,1–1,8 мкм, дефекты поверхностные 0,012–0,02 мкм. При усиллии правки – растяжением менее $0,3 \sigma_{0,2}$ и выдержкой менее 50 с. Штанга не выправляется полностью и остается кривизна более 5 мм в концевой части штанги на участке 0,5 метра от головки. При усиллии более $0,5 \sigma_{0,2}$ и времени выдержки более 70 с. штанга выправляется и соответствует стандарту, но значительно увеличивает цикл обработки. Следует также отметить, что время выдержки 50–70 с. в напряженном состоянии позволяет дополнительно упрочнить металл равномерно по всей длине, и получить механические свойства $\sigma_{0,2} = 730 \dots 820$ МПа, $\sigma_b = 850 \dots 960$ МПа, что соответствует классу D согласно стандартам API Spec 11 B [7].

Поверхностное упрочнение галтели и подэлеваторного участка штанги с участком длиной 300–500 мм проводится путем откатки профильными роликами с усилием $(0,7 \dots 0,8) \sigma_{0,2}$ со скоростью 8–9 м/мин. Данная операция поверхностного упрочнения проводится с целью дополнительного упрочнения участка штанги, подверженного зоне температурного влияния при штамповке головок, где температура достигает 1100 °С. Поэтому создание сжимающих остаточных напряжений на поверхности данного участка и упрочнение поверхностных слоев металла позволяют повысить прочностные свойства данного участка и циклическую долговечность всей штанги. Обкатка участка штанги с усилием менее $0,7 \sigma_{0,2}$ не обеспечивает упрочнение и создает остаточные напряжения сжатия менее 120 МПа, оставляя при этом шероховатость поверхности более 5 мкм, что будет снижать прочностные характеристики штанги из-за дефектов поверхностного слоя. При усиллии обкатки более $0,8 \sigma_{0,2}$ происходит наклеп поверхностного слоя на участках перекрытия следов обкатки и возникает волнистость поверхности в виде винтового следа, что ведет к микротрещинам поверхности и служит концентратором при работе, особенно в коррозионно-активных средах.

Теоретические исследования были проверены экспериментально [3, 8]. В качестве исходной заготовки используется горячекалиброванная сталь марки 20ХГН1М. Заготовка закладывается в щелевую газовую печь на длину 400 мм и нагревается до температуры ковки материала. После нагрева, по одной штуке, заготовки подвергают ковке на ГКМ, где формируется головка штанги за 5 переходов. После высадки головок, штанги подаются на установку электроотпуска, где каждая заготовка закладывается на электроконтакты и нагревается до температуры 480–500 °С с выдержкой 15–20 мин. При этом разброс температур по длине штанги не превышает ± 5 °С. С установки электроотпуска штанги подают на охлаждение до температуры 180–200 °С за время 15–18 мин. Штангу, нагретую до температуры 180–200 °С, помещают в машину растяжения, закрепляя в захваты за квадратную часть головки, и подвергают растяжению с усилием $(0,3 \dots 0,5) \sigma_{0,2}$, контролируемому по давлению на штоке гидроцилиндра: (10,8–11,9) Т для штанги диаметром 19,2 мм, при этом напряжения растяжения составляет 380–410 МПа, а для штанги диаметром 22,4 мм (15,3–16,1) Т, соответственно, при этих же значениях напряжения. Далее штанга подается на установку поверхностно-пластической деформации, где в автоматическом режиме обкатывается вращающейся головкой с неприводными роликами цилиндрического профиля 2 мм переходящим в радиус 20 мм и повернутыми на угол 3° по отношению к оси штанги, обеспечивающие подачу штанги 8–9 м/мин при скорости вращения 180 об/мин и усилием сжатия за счет радиального перемещения от центробежных сил, равного 500–530 МПа на контактных поверхностях. Готовые штанги подвергались контролю по геометрическим характеристикам, по дефектам поверхности: твердость соответствовала 260–270 НВ, структура однородная – ферритно-перлитная, механические свойства – предел текучести $\sigma_{0,2}$ 780–820 МПа, предел прочности σ_b 860–930 МПа, относительное удлинение δ 15–16 %, относительное сужение ψ 59–63 % при требованиях стандарта API для класса D $\sigma_{0,2}$ 690 МПа, σ_b 790–965 МПа, δ 12 %, ψ 55 %. Также были проведены испытания на многоцикловую прочность по ГОСТ 25.502-79. Схема нагружения соответствовала поперечному изгибу при вращении, симметричный цикл. База испытаний 107 циклов. При нагрузке 3,0 кгс с числом циклов 1240000 штанга не разрушилась, при нагрузке 2,7 кгс 108 циклов – разрушений не наблюдается.

Основным элементом, оказывающим влияние на свойства углеродистых и низкоуглеродистых сталей, является углерод. Введение легирующих элементов в состав сталей позволяет значительно изменять их свойства. С увеличением содержания легирующих элементов даже в небольших количествах истинное сопротивление деформации стали возрастает. Причем наибольшее влияние оказывает кремний, в меньшей степени – никель и марганец, хром. При более высоком содержании легирующих элементов их влияние усложняется.

Механические свойства металлов являются структурно-чувствительными, т.е. зависят не только от прочности межатомной связи, но и от строения кристаллической решетки, величины зерна, количества, формы и распределения фаз в сплаве.

От размера зерна зависит предел прочности металла – величина, близкая к пределу текучести. В результате анализа экспериментальных данных получены зависимости свойств малоуглеродистой стали штанг от размера зерна, зависимости пределов прочности и текучести от температуры электроотпуска (табл. 1).



Таблица 1 – Влияние размера зерна на свойства стали штанг

| Размер зерна (число зерен на 1 мм ²) | Предел прочности σ_b , МПа | Температура электроотпуска, °С | Удлинение образца на длине 7620 мм, % | Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа |
|---|--------------------------------------|-----------------------------------|---|--|
| 1 | 757 | 480 | 15 | 726 |
| 6 | 836 | 497 | 15 | 750 |
| 15 | 860 | 485 | 15 | 728 |
| 51 | 870 | 500 | 16 | 740 |
| 76 | 890 | 482 | 15 | 726 |
| 120 | 920 | 492 | 15 | 739 |

Установлено, что с увеличением степени деформации происходит повышение пределов текучести и прочности, и уменьшение пластичности. В результате анализа исследований были получены эмпирические зависимости:

$$\sigma_{0,2} = \sigma_{T.O} + \frac{\pi}{4} a' \sqrt{\varepsilon}, \quad (1)$$

где $\sigma_{T.O}$ – исходный предел текучести материала; ε – деформация; a' = 60 ... 75 МПа – коэффициент, зависящий от марки стали. Чем больше углерода в стали, тем больше коэффициент.

Средний предел текучести в очаге поверхностно-пластической деформации составит

$$\sigma_{0,2cp} = \sigma_{T.O} + \frac{a'}{2} \left(\sqrt{\varepsilon} + \frac{\varepsilon_1}{\sqrt{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}} \arcsin \sqrt{\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}{\varepsilon}} \right), \quad (2)$$

где ε_0 – предварительное обжатие, %.

Замечено, что с повышением температуры электроотпуска предел текучести уменьшается по экспоненциальной кривой, что облегчает сдвиговые процессы в зернах металла [10]. Величина $\sigma_{0,2}$ снижается с повышением температуры (табл. 1). Это позволило выявить зависимость:

$$\sigma_{0,2}^t = \sigma_{0,2} \left(1 - \frac{n_x \sqrt{t^\circ}}{100} \right), \quad (3)$$

где $\sigma_{0,2}^t$ – предел текучести с учетом температурного фактора; n_x – коэффициент, зависящий от химического состава марки стали; t° – температура нагрева металла.

Сопrotивление деформированию возрастает при повышении скорости деформации в штангах глубиннонасосного оборудования. Это объясняется двумя конкурирующими скоростями процессов, происходящих в металле: упругой и пластической деформации, упрочнения и разупрочнения металла. Упругая деформация распространяется в твердой среде со скоростью звука; скорость распространения пластической деформации значительно меньше скорости распространения упругой деформации. Следовательно, при нагружении штанги выше предела упругости стали величина пластической деформации должна определяться скоростью этого нагружения, чем выше скорость нагружения, тем меньше времени для протекания пластической деформации и тем выше напряжение, при котором возникает переход из упругой деформации в пластическую. В зависимости от продолжительности пластического деформирования возникающее упрочнение в той или иной степени снимается разупрочнением. В результате, быстрому процессу деформации соответствует большее сопротивление деформации, чем, соответственно, медленному процессу, т.е. напряжение тем больше, чем выше скорость деформации. Скорость перемещения дислокаций, определяющая скорость деформирования, также имеет предел, который зависит от величины нагрузки и температуры. Высокая степень деформации до 67 % приводит к завышенным усилиям деформации и повышенным нагрузочным способностям работы штампового инструмента и оснастки ГКМ.

На данные штанги получен сертификат соответствия № РОСС РИ АЯ04В12655. Штанги прошли эксплуатационные испытания, где после 712 дней работы обрывов и отворотов не наблюдалось.

В результате теоретических и опытно-промышленных испытаний рекомендованы к производству по данной технологии изготовление штанг ШН19, ШН22, ШН25 длиной от 1000 до 3680 мм, 7620 мм, 8000 мм, 9140 мм с механическими свойствами $\sigma_{0,2min}$ 586 МПа, σ_b 790 – 960 МПа.



Применение данной технологии изготовления насосных штанг позволяет повысить межремонтный период работы скважины, увеличить характеристики пластичности, прочности и надежности глубиннонасосного оборудования.

Литература:

1. Климов В.А., Валовский В.М. Об эффективности эксплуатации насосных штанг // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 94–97.
2. Счастливецова В.М., Табатчикова Т.И., Яковлева И.Л. и др. Влияние термомеханической обработки на сопротивление хрупкому разрушению низкоуглеродистой низколегированной стали // Физика металлов и металлургия. – 2015. – Т. 116. – № 2. – С. 189–199.
3. Dementyev V.B., Makarov S.S., Makarova E.V. Mathematical Modeling of Cooling High-Temperature Cylindrical Workpieces // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 393–399.
4. Газаров А.Г., Эпштейн А.Р., Андреев В.Е. К вопросу усталостно-коррозионного износа глубиннонасосного оборудования // Методы увеличения нефтеотдачи трудноизвлекаемых запасов. Проблемы и решения. – Уфа: Изд-во «Монография», 2003. – Вып. 4. – С. 222–223.
5. SU992601A C21D9/08, 30.01.83.
6. Пат. № 2270871 РФ. Заявка № 2005100827 от 17.01.2005., Способ изготовления нефтенасосных штанг / Дементьев В.Б., Иванов А.Г., Абдулин Н.Н. – зарегистрировано 27.02.2006.
7. API Spec 11B Specification for Sucker Rods, Polished Rods and Liners, Couplings, Sinkers Bars, Polished Rod Clamps, Stuffing Boxes, and Pumping Tees (With Errata 1, October 2010, Errata 2, February 2011).
8. Dementyev V.B., Suhikh A.A., Makhneva T.M. On problem of increasing the structural strength of maraging steels // Inorganic Materials; Applied Research. – 2015. – Т. 6. – № 4. – P. 343–349.

References:

1. Klimov V. A., Valovsky V.M. About efficiency of operation of pump bars // Oil economy. – 2015. – No. 1. – P. 94–97.
2. Schastlivtseva V.M., Tabatchikova T.I., Yakovleva I.L., etc. Influence of thermomechanical processing on resistance to fragile destruction of the low-carbon low-alloyed steel // Physics of metals and metallurgical science. – 2015. – Т. 116. – No. 2. – P. 189–199.
3. Dementyev V.B., Makarov S.S., Makarova E.V. Mathematical Modeling of Cooling High-Temperature Cylindrical Workpieces // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 393–399.
4. Gazarov A.G., Epstein A.R., Andreyev V.E. To a question of fatigue and corrosion wear of the deep and pump equipment // Methods of increase in oil recovery of hardly removable stocks. Problems and decisions. – Ufa: Monografiya publishing house, 2003. – Issue 4. – P. 222–223.
5. SU992601A C21D9/08, 30.01.83.
6. Stalemate. No. 2270871 of the Russian Federation. Application No. 2005100827 from 1/17/2005., the Way of production of petropump bars / Dementiev V.B., Ivanov A.G., Abdulin N.N. – it is registered 2/27/2006.
7. API Spec 11B Specification for Sucker Rods, Polished Rods and Liners, Couplings, Sinkers Bars, Polished Rod Clamps, Stuffing Boxes, and Pumping Tees (With Errata 1, October 2010, Errata 2, February 2011).
8. Dementyev V.B., Suhikh A.A., Makhneva T.M. On problem of increasing the structural strength of maraging steels // Inorganic Materials; Applied Research. – 2015. – Т. 6. – № 4. – P. 343–349.