



УДК 539.3

**В.Е. Антонюк**

Государственное научное учреждение  
«Объединенный институт машиностроения  
Национальной академии наук Беларуси»,

г. Минск, Беларусь

E-mail: vladi@tut.by

Дата поступления 16.01.2018

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ВОССТАНОВЛЕНИИ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

### Аннотация

Рассмотрены особенности технологии изготовления бурильных труб для достижения геометрической точности. Предложены пути повышения геометрической точности и эксплуатационных параметров при изготовлении и восстановления бурильных труб за счет использования циклического нагружения.

**Ключевые слова:** бурильная труба, отклонение от прямолинейности, остаточные напряжения, циклическое нагружение, правка.

### Введение

В настоящее время для горизонтального и глубокого бурения роторным способом преимущественно используются высокопрочные утяжеленные бурильные трубы. При бурении часто встречается искривление скважин, которое влечет за собой ряд таких проблем, как нарушение сроков бурения, повышенный износ бурильных труб, ухудшение качества изоляционных работ, невозможность использования штанговых насосов при эксплуатации скважин и т.д. Одной из причин искривления скважин являются применение искривленных бурильных труб и самопроизвольное искривление труб в процессе бурения.

В данной работе предлагается использовать циклическое нагружение для повышения геометрической точности оси бурильных труб и снижения остаточных напряжений, которые в ряде случаев являются причиной искривления труб в процессе эксплуатации.

### Технологии изготовления и правки бурильных труб

Требования и общие технические условия к бурильным трубам определяются ГОСТ Р 51245 - 99 «Трубы бурильные стальные универсальные. Общие технические условия» [1], ГОСТ 631 - 75 «Трубы

бурильные с высаженными концами и муфты к ним. Общие технические условия», а также ГОСТ 631-75 и ТУ 14-3-126-73, ТУ -14-3-1928-94, ТУ-14-3-1919-93, ТУ 14-3-15-71-88, ТУ 1234-010-26602587-2007 и т.д.

Согласно требований этих ГОСТов общая кривизна трубы не должна превышать 1:2000 её длины, т. е. максимальная кривизна трубы длиной 6 метров равна 3 мм, а трубы длиной 12 метров - 6 мм.

Для утяжеленных бурильных труб кривизна канала трубы относительно ее теоретической оси в середине трубы не должна превышать: 4,5 мм для труб диаметром 120 и 133 мм; 3,0 мм – 146 и 178 мм; 2,0 мм для труб остальных диаметров. Допускается требуемую кривизну труб обеспечивать холодной правкой.

По геометрическим параметрам большинство бурильных труб по наружному диаметру находятся в диапазоне 45...120 мм и длине от 6 до 10 м, в связи чем по соотношению длины и диаметра бурильные трубы находятся в пределах  $L/d > 10$ , что позволяет считать их нежесткими деталями как в процессе изготовления, так и в процессе эксплуатации.

В процессе изготовления трубы подвержены различным видам деформаций, приводящих к изменению их геометриче-

ских параметров. Трубы могут деформироваться от сил резания, от сил зажима, от перепада температур, от структурных изменений и т.д.

Для исключения этих деформаций на последней стадии обработки труб применяются различные виды правки. Основные технологические операции и оборудование для изготовления бурильных труб включают разрезку труб и обработку концов, первую правку, высадку (или приварку) замков, проточку и расточку замков, нарезание резьбы, термическую обработку, вторую правку.

Первая правка производится для трубы без замков. Такая правка может производиться как на прессе, так и на роликовых машинах. Правка труб на косоалковых машинах является наиболее перспективной по обеспечению точности труб [2]. Основным преимуществом правки труб на правильных косоалковых машинах является то, что в процессе правки труба не вращается, и правка происходит при циклических знакопеременных изгибах, при этом продольная кривизна выправляемых труб не превышает 0,5 мм/п.м. В оборудовании для правки труб используют десятивалковые правильные машины. Технологии изгиба труб внутри калибра также успешно реализуются на более дешевых шестивалковых и восьмивалковых правильных машинах [3].

Вторая правка производится для окончательно изготовленной бурильной трубы, которая по своей конструкции имеет увеличенные диаметры с обеих сторон, которые не позволяют использовать роликовые схемы правки и оставляют возможность правки только на прессе.

В результате статическая правка на прессе для окончательно изготовленной бурильной трубы исправляет кривизну трубы, но сохраняет остаточные напряжения.

Остаточные напряжения даже при простом хранении трубы в результате релаксации приводят к её искривлению трубы. В процессе эксплуатации под действием знакопеременных нагрузок, причем достаточно высоких уровней, процесс релаксации остаточных напряжений в трубе

ускоряется, что приводит к искривлению трубы.

В технической литературе приведены катастрофические случаи искривления бурильных колонн причиной которых являлось неблагоприятное сочетание различных факторов. Однако пока процесс релаксации остаточных напряжений в бурильных трубах в процессе эксплуатации недостаточно изучен и ему не уделялось достаточного внимания.

Имеющаяся информация о влиянии остаточных напряжений на геометрические параметры маложестких стержневых изделий позволяет предполагать возможности существенного влияния остаточных напряжений на искривление бурильной колонны в процессе эксплуатации. Особенно остро эта проблема относится к настоящему времени, когда преимущественное применение находит роторное бурение и увеличивается глубина новых скважин.

Известно, что зарубежные изготовители маложестких деталей применяют правку с многократным приложением знакопеременных нагрузок, при этом отмечается высокая точность независимо от исходной погрешности, уменьшение внутренних напряжений, стабильность геометрической формы деталей при последующей обработке, сокращение операций термической обработки, увеличение срока службы, однако в этой и других публикациях полностью отсутствует информация о режимах и особенностях такой правки [4].

### **Метод динамической стабилизации**

Для исправления и стабилизации минимальной кривизны труб, а также снятия внутренних напряжений целесообразно использовать метод динамической стабилизации [5-7]. К настоящему времени выявлены основные физические закономерности динамической стабилизации, экспериментально подтверждено явление стабилизации геометрической оси тела при нагружении знакопеременной циклической нагрузкой. При этом знакопеременные нагрузки изменяются по определенному закону. Суммарное количество циклов назначается в пределах от 100 до 800 циклов. Для целе-

направленного использования динамической стабилизации разработана инженерная методика расчета режимов нагружения.

В отличие от правки на правильных станах, где все трубы правятся практически на одном и том же режиме нагружения, установка для динамической стабилизации на современном уровне выполняется с системой управления циклограммой нагружения на основе ЧПУ и позволяет устанавливать любые режимы правки применительно к конкретной трубе.

Можно прогнозировать, что использование динамической стабилизации при изготовлении бурильных труб обеспечит кривизну трубы на всей длине в пределах 0,5... 1,0 мм. Но самое главное - позволит снизить их деформацию во время бурения за счет снятия внутренних напряжений, повысит надежность и долговечность труб. Динамическая стабилизация может быть также использована для исправления кривизны труб при их реставрации.

Динамическая стабилизация мало жесткого стержневого изделия типа бурильных труб осуществляется за счет создания в нем циклического нагружения при вращении. В исходном положении труба зажимается с двух сторон по наружному диаметру и приводится во вращение с изменением величины прогиба по заданной циклограмме (рисунок 1) [8].

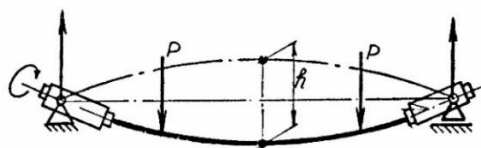


Рисунок 1. Принципиальная схема динамической стабилизации труб

Установка для динамической стабилизации состоит из станины, на которой расположены два шпиндельных устройства с быстродействующими патронами, в которых крепится по наружным диаметрам труба (рисунок 2). Шпиндельные устройства имеют привод вращения и силовой привод для их поворота относительно оси вращения торсионного вала.

Частота вращения патронов шпиндельного устройства и силового привода для поворота относительно оси вращения трубы управляются по специальной цикло-

грамме с помощью системы ЧПУ (рисунок 3). Система ЧПУ позволяет устанавливать управляющие программы, вносить в них корректировки, работать в автоматическом и ручном режимах.

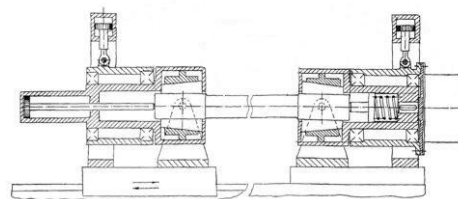


Рисунок 2. Конструктивная схема установки для динамической стабилизации труб

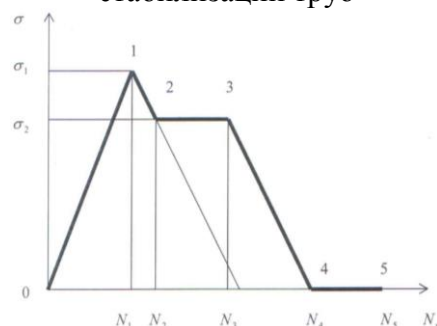


Рисунок 3. Циклограмма динамической стабилизации

Для проведения исследования динамической стабилизации деталей типа валов была создана опытная установка со следующими техническими характеристиками:

- длина подвергаемых динамической стабилизации валов - 740...1600 мм;
- диаметр рабочей части валов - 35...45 мм;
- частота вращения вала - 1000 мин<sup>-1</sup>;
- максимальный прогиб вала при максимальной длине - 85 мм;
- суммарная мощность приводов – 17 кВт.

При правке валов длиной 1200 мм с диаметром рабочих шеек 40 мм достигнуто биение вала в пределах 0,3...0,5 мм при исходном биении от 5 до 10 мм.

Принципиальной особенностью динамической стабилизации валов было то, что высокая окончательная точность достигалась независимо от исходной погрешности и не требовалось проводить измерения исходной погрешности. Результатом динамической стабилизации валов было сохранение достигнутой точности на протяжении хранения через 3 месяца, что позволяет сделать вывод об отсутствии остаточных

напряжений после динамической стабилизации. Достигнутые результаты использования динамической стабилизации позволяют прогнозировать как повышение точности, нагрузочной способности и ресурса деталей типа труб и валов, так и снижение технологических затрат на их изготовление.

Для создания промышленной установки с ЧПУ для динамической стабилизации бурильных труб к настоящему времени в Объединенном институте машиностроения Национальной академии наук Беларуси разработаны конструктивные схемы и расчетные зависимости для определения основных силовых параметров установки для динамической стабилизации утяжеленных бурильных труб в диапазоне наиболее широко используемых длин и диаметров. Для проектирования и изготовления промышленных установок для динамической стабилизации бурильных труб имеются возможности использования предприятий станкостроения как в Белоруссии, так и в Российской Федерации.

Особенностями используемой системы ЧПУ установки для динамической стабилизации утяжеленных бурильных труб является программное обеспечение, что позволяет оперативно вносить корректировки в циклограммы нагружения для одного и того же типоразмера трубы при необходимости уточнения свойств материала и других особенностей трубы.

На основании этого при использовании динамической стабилизации выявляются возможности выявлять трубы со скрытыми дефектами и отклонениями от заданных механических свойств, которые практически невозможно обнаружить другими методами без разрушения трубы.

### **Заключение**

1. Предложено использовать метод динамической стабилизации для повышения точности геометрических параметров при изготовлении утяжеленных бурильных труб с отношением длины к диаметру свыше 30 с достижением точности геометрической оси 0,25...0,40 мм на 1000 мм длины детали. В результате можно повысить точность изготовления бурильных

труб по кривизне примерно в 2 раза и снизить остаточные напряжения, что в конечном итоге позволит повысить точность бурения.

2. Предложено использовать метод динамической стабилизации на первом этапе реставрации бурильных труб для выявления труб со скрытыми дефектами, которые практически невозможно обнаружить другими методами без разрушения трубы, с последующей правкой с достижением требуемой точности.

### **Библиографический список**

1. Трубы бурильные стальные универсальные. Общие технические условия: ГОСТ Р 51245-99. – М.: Госстандарт России, 2000. – 15с.
2. Ротов И.С. Машины для правки труб. Конструкции, расчеты, исследования. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. – 269 с.
3. Завгородній Д.В. Удосконалення технологічних режимів процесу та конструкцій обладнання для виправлення труб та трубних заготовок: дисс. на соиск. уч. ст. кандидата техн. наук. –Краматорск, 2006. –225 л.
4. Хенкин М.Л., Локшин И.Х. Размерная стабильность металлов и сплавов в точном машиностроении и приборостроении. – М.: Машиностроение, 1974. – 256 с.
5. Антонюк В.Е. Динамическая стабилизация в производстве маложестких деталей. – Минск: Беларуская навука, 2017. –216 с.
6. Антонюк В.Е., Берестнев О.В. Основные положения динамической стабилизации геометрических форм деталей // Доклады Национальной Академии наук Беларуси. 2005. Т.49. № 3. С.98 – 102.
7. Антонюк В.Е. Расчетные зависимости управления петлей механического гистерезиса для динамической стабилизации //Деформация и разрушение материалов. 2011. № 10. С.21-24
8. Антонюк В.Е. Технологические возможности повышения точности изготовления дисков и валов // Технология машиностроения. 2005. № 6. С.43–48

PROSPECTS OF APPLYING DYNAMIC STABILIZATION, WHEN MANUFACTURING  
AND RECONDITIONING DRILL PIPES

Abstract

The paper focuses on process features of manufacturing drill pipes to control their geometry. It suggests ways to increase geometric accuracy and operating parameters, when manufacturing and reconditioning drill pipes, by applying cyclic loading.

**Keywords:** drill pipe, out-of-straightness, residual stress, cyclic loading, leveling.



УДК 621.774.63

А.В. Козлов, А.С. Верещагин

ФГАОУ ВО Филиал «Южно-Уральского государственного  
университета» в г. Златоусте  
г. Златоуст, Российская Федерация  
E-mail: arta2009@mail.ru  
Дата поступления 17.04.2018

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРУБОГИБОМ

Аннотация

Произведена модернизация серийного трубогиба ИВ-3430 для холодной гибки труб методом раскатывания. В ходе производственных испытаний модернизированного трубогиба выявлены ряд недостатков в существующей системе управления трубогибом, оказывающие негативное влияние на качество гибки труб. Для устранения недостатков и расширения технологических возможностей трубогиба произведено совершенствование данной системы с применением современных электронных устройств. Для упрощения работы оператора организован человеко-машинный интерфейс. Разработаны принципиальные схемы функционирования, а также циклограмма работы трубогиба. Представлены результаты испытаний модернизированной системы управления, показывающие целесообразность её внедрения.

**Ключевые слова:** совершенствование, управление, трубогиб, раскатывание, модернизация.

В Южно-Уральском государственном техническом университете разработана не имеющая аналогов технология холодной гибки труб большого диаметра и оборудование для её реализации, в основе которой лежит воздействие на изгибаемую трубу вращающегося раскатника [1].

На основании проведённых теоретических и экспериментальных исследований было разработано оборудование для гибки труб диаметром 20–200 мм. В частности, проведена модернизация серийного трубогиба ИВ-3430. Трубогиб был снабжен механизмом раскатывания изгибаемой трубы и

механизмом создания натяга, выполненном в виде инерционного нагружателя [2].

Кинематическая схема (рисунок 1) состоит из: 1 – электродвигатель А112МА6У1; 2, 4, 18, 20 – шкивы; 3 – ременная передача; 5 – подшипник радиальный; 6 – червячный редуктор РЧУ100-20-51-У2; 7 – муфта; 8 – подшипник радиально-упорный; 9 – червяк; 10/11, 12/13 – зубчатые передачи; 14 – эксцентриковый зажим; 15 – ролик гибочный; 16 – ролик раскатной, 17 – зажимной винт; 19 – инер-