

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ КОНЦОВ ТРУБ ПРИ КАЛИБРОВАНИИ

Д.А. Ахмеров<sup>1,2</sup>, Д.Ю. Звонарев<sup>1</sup>, А.В. Выдрин<sup>1, 2</sup>,  
М.А. Зинченко<sup>1,2</sup>, М.А. Павлова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ОАО «Российский научно-исследовательский институт  
трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск, Россия,  
<sup>2</sup> Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Основным назначением обсадных труб является армирование скважины, обеспечение ее герметичности и сдерживание давления грунта. В последнее время все чаще используют обсадные трубы с высокогерметичным резьбовым соединением. К таким соединениям относится, в частности, соединение класса «Премиум» ТМК UP FMC. В связи с этим к обсадной трубе предъявляются повышенные требования как по концам труб, так и по механическим свойствам.

Для обеспечения выполнения качественной нарезки резьбы необходимо подготавливать концы труб, например, с использованием прессов по калиброванию концов.

В настоящее время в практике калибрования концов используют различные способы, такие как раздача внутренним кольцом (пуансоном), обжатие наружным кольцом, совместное использование внутреннего и наружного кольца, а также может быть использован конический пуансон.

В зависимости от типа используемого инструмента и исходной геометрии труб используются различные схемы калибрования.

В результате выполнения работы проведено моделирование в среде QForm 3D различных стратегий калибрования концов труб для определения эффективности применения различных способов калибрования концов труб: стратегия А – последовательное формоизменение концов труб с использованием пуансона, наружного и конического кольца; стратегия В – совместное использование пуансона и наружного кольца с последующей конической калибровкой; стратегия С – последовательное формоизменение концов труб с использованием пуансона и наружного кольца с последующей конической калибровкой; стратегия D – формоизменение концов труб только коническим кольцом.

В результате исследования, на основе сравнительного анализа фактических и расчетных данных была достигнута необходимая точность в определении геометрических параметров (диаметра и толщины стенки) компьютерной модели. Также в ходе исследования сделан ряд выводов, которые представлены в Заключении.

*Ключевые слова:* калибрование концов труб, производство труб, компьютерное моделирование, технология производства, бесшовные горячекатаные трубы, дефекты труб, качество поверхности, нарезка резьбы.

### Введение

Для повышения рентабельности нефте- и газодобычи в вертикальных и в особенности наклонно-направленных скважинах в последнее время все чаще используют обсадные трубы с высокогерметичным резьбовым соединением [1–3]. К таким соединениям относится, в частности, соединение класса «Премиум» ТМК UP FMC [4].

Для качественной нарезки резьбы концы труб должны иметь высокую точность геометрических размеров [5]. Поэтому успешное проведение мероприятий по отработке режимов калибрования концов труб под нарезку резьбы приобретает важное значение.

### Постановка задачи

Калибровка концов обсадных труб, предназначенных для нарезки премиальной резьбы, может выполняться различными способами с использованием внутреннего, наружного и конического кольца [6–10]. Калибровка концов труб осуществляется без предварительного нагрева, с возможным нагревом концов труб после их калибровки. Большим преимуществом процессов калибрования концов труб является то, что они легко механизуются, а оборудование можно встраивать в поточные и автоматические линии механической обработки труб [11–13].

Поскольку вне зависимости от исходных

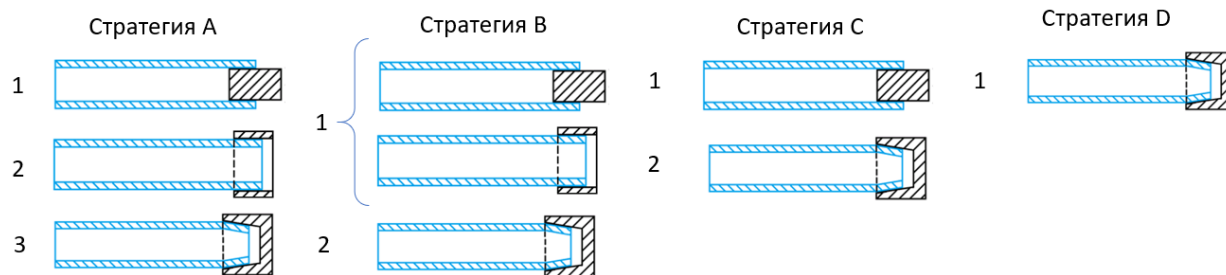


Рис. 1. Стратегии калибровки концов труб

геометрических параметров трубы необходимо получать требуемую геометрию под последующую нарезку резьбы, то целесообразно определить, какая схема калибровки наиболее эффективна.

Поэтому для исследования вариантов калибровки труб, а также применяемых инструментов принято решение о проведении компьютерного моделирования в современном программном комплексе QForm 3D, которое поможет выявить положительные и отрицательные факторы действующей технологии.

При этом были промоделированы различные стратегии калибровки труб (рис. 1):

Стратегия А – последовательное формоизменение концов труб с использованием пуансона, наружного и конического кольца.

Стратегия В – совместное использование пуансона и наружного кольца с последующей конической калибровкой.

Стратегия С – последовательное формоизменение концов труб с использованием пуансона и наружного кольца.

Стратегия D – формоизменение концов труб с использованием конического кольца.

## Компьютерное моделирование

В качестве объекта моделирования выбраны обсадные трубы диаметром 245 и 324 мм. Для последующего моделирования созданы трехмерные модели рабочего инструмента для калибровки концов труб. Модели создавались с применением системы трехмерного проектирования КОМПАС-3D, имеющей средства для передачи данных в различные CAD/CAM/CAE-системы, в том числе и QForm 3D [14, 15].

После создания трехмерных моделей трубы и рабочего инструмента в редакторе 3D-геометрии QShape была произведена подготовка компьютерной модели (рис. 2) к расчету.

По результатам моделирования определялись геометрические параметры трубы.

Процедура моделирования включала два этапа.

1. Оценка сходимости моделирования и результатов гарантийных испытаний по стратегии D. На этом этапе расчет выполнялся для условий, соответствующих условиям гарантийных испытаний. Соответственно результа-

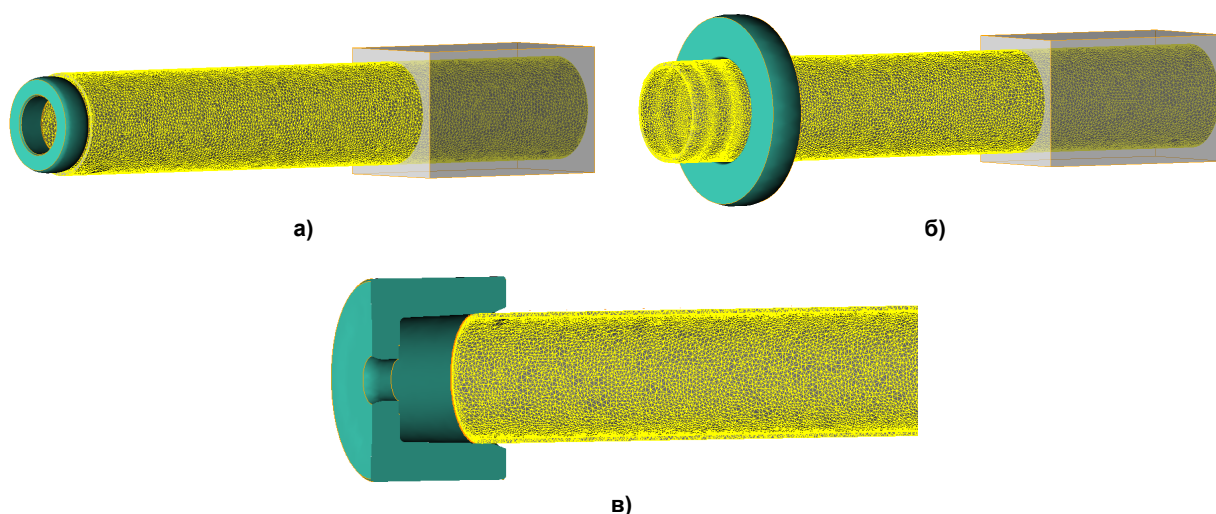


Рис. 2. Трехмерные модели вариантов формоизменения: а – внутреннее формоизменение концов труб (стратегии А, В, С); б – наружное формоизменение концов труб (стратегии А, В, С); в – осадка на конус (стратегии А, D)

ты расчета сравнивались с результатами гарантийных испытаний.

2. Обработка технологии с применением «идеальной» трубы. На этом этапе для определения возможных путей улучшения технологии калибрования выполнялся компьютерный анализ действующей технологии.

Для детального анализа процесса калибрования на начальном этапе было проведено моделирование согласно стратегии D данной операции для труб с наружным диаметром 245 и 324 мм.

С целью повышения точности моделирования принято решение о построении геометрических параметров исходной трубы, они описывались с использованием фактических значений в каждом конкретном сечении трубы (рис. 3).

Также для повышения точности моделирования размеры конечных элементов были уменьшены (на расстоянии до 300 мм от тор-

ца трубы) таким образом, чтобы по толщине стенки количество элементов было не менее 2 (рис. 4).

Для обеспечения максимальной точности полученных значений толщины стенки трубы в продольном направлении измерения проводились в 100 сечениях через каждые 5 мм, в поперечном – через каждые  $10^\circ$ .

Результаты сравнения фактических и расчетных данных представлены на рис. 5.

Исходя из анализа рис. 5, можно сделать вывод о том, что точность моделирования является достаточно высокой и ошибка не превышает 0,1 мм.

На втором этапе с целью анализа действующей технологии созданы «идеальные» модели трубы (без овальности и с конкретной начальной толщиной стенки трубы). Длина трубы при моделировании для уменьшения времени расчета принята равной 1000 мм.

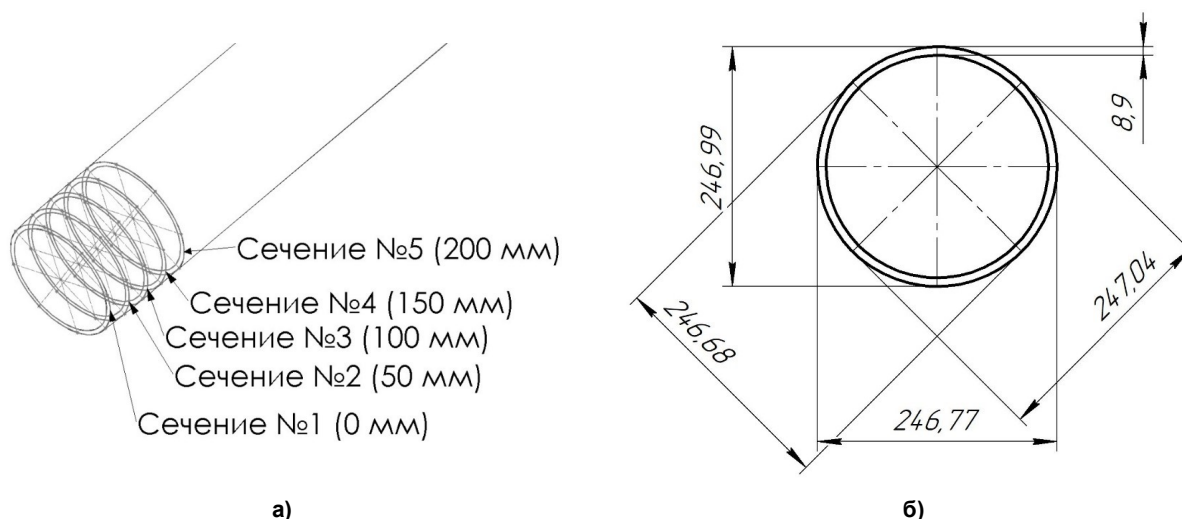


Рис. 3. Построение геометрии исходной трубы: а – общий вид построенной модели; б – размеры трубы в поперечном сечении

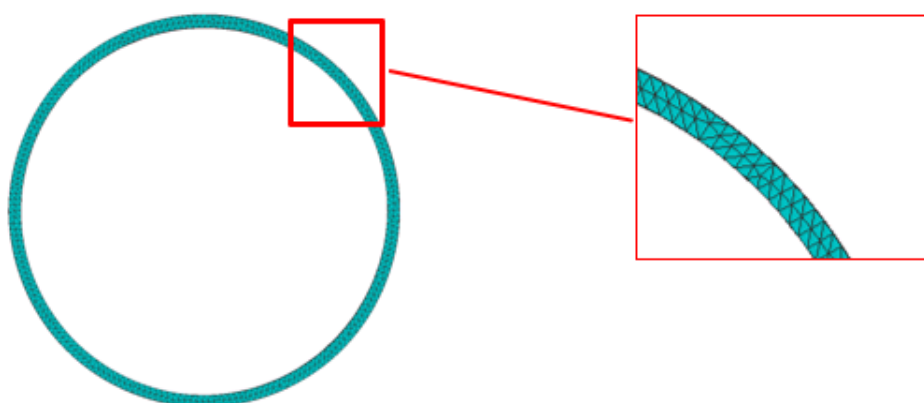
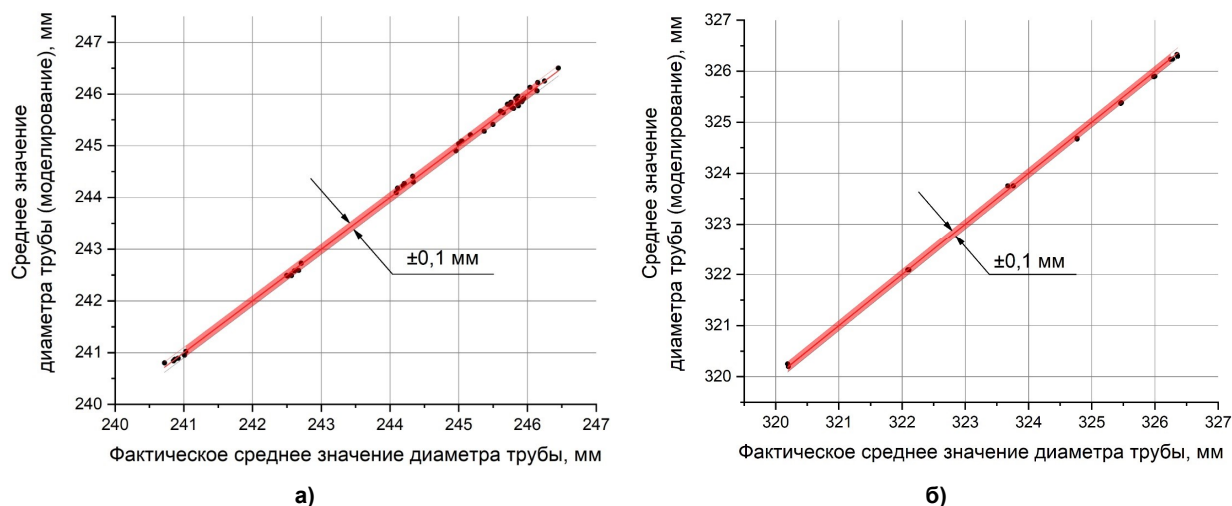


Рис. 4. Общий вид торца трубы с конечно-элементной сеткой



**Рис. 5. Распределение отклонений средних значений диаметра трубы при моделировании от фактических значений диаметра трубы размером 245 мм (а) и 324 мм (б) (при скорректированном моделировании)**

### Результаты моделирования

После проведения моделирования операции формоизменения концов труб по торцу с использованием конического кольца получены следующие результаты (рис. 6).

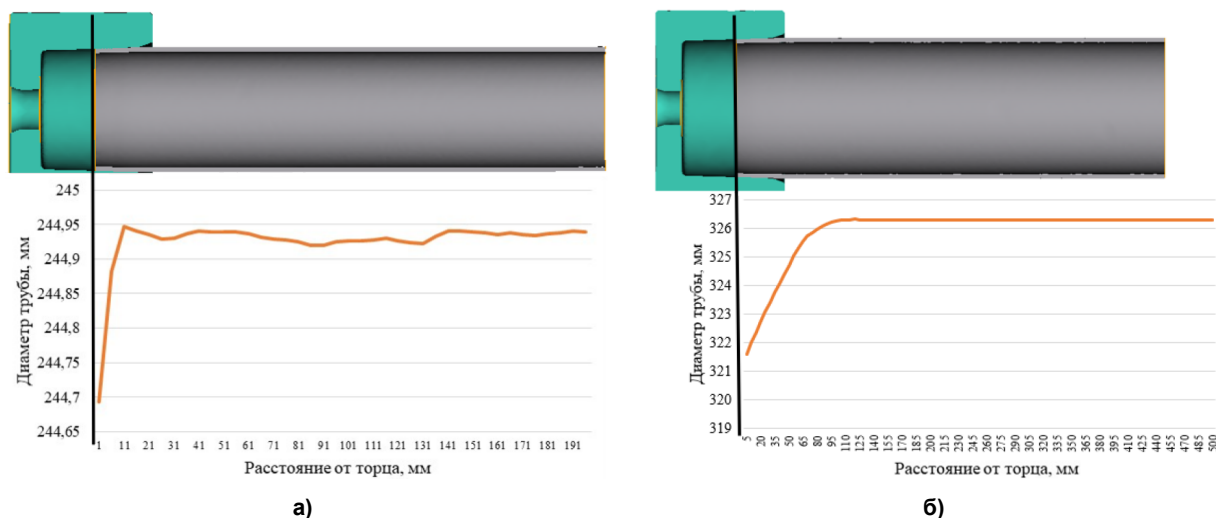
Из анализа рис. 6 можно сделать вывод о том, что калибровка инструмента, предложенная поставщиками оборудования для использования в стратегии D, не приводит к ухудшению геометрических параметров деформированных концов труб.

Далее было проведено моделирование варианта процесса калибровки с увеличением диаметра концов трубы (стратегия С). Данная стратегия заключается в последовательном формоизменении концов труб с использованием пуансона и наружного кольца.

На рис. 7 представлены результаты моделирования процесса калибровки концов труб диаметром 245 и 324 мм по стратегии С.

Как видно из рис. 7а, сортамент труб диаметром 245 мм невозможно корректно калибровать на увеличение диаметра с применением данного инструмента, так как полученный диаметр в разы отличается от необходимого допуска на трубы после калибровки. Так как данная операция также входит в состав стратегии А, то для калибровки концов труб данного сортамента ее применение нецелесообразно.

Далее выполнено компьютерное моделирование с использованием пуансона и наружного кольца с их совместным ходом (стратегия В, рис. 8).



**Рис. 6. Распределение диаметра трубы по ее длине после формоизменения по торцу диаметра трубы размером 245 мм (а) и 324 мм (б)**

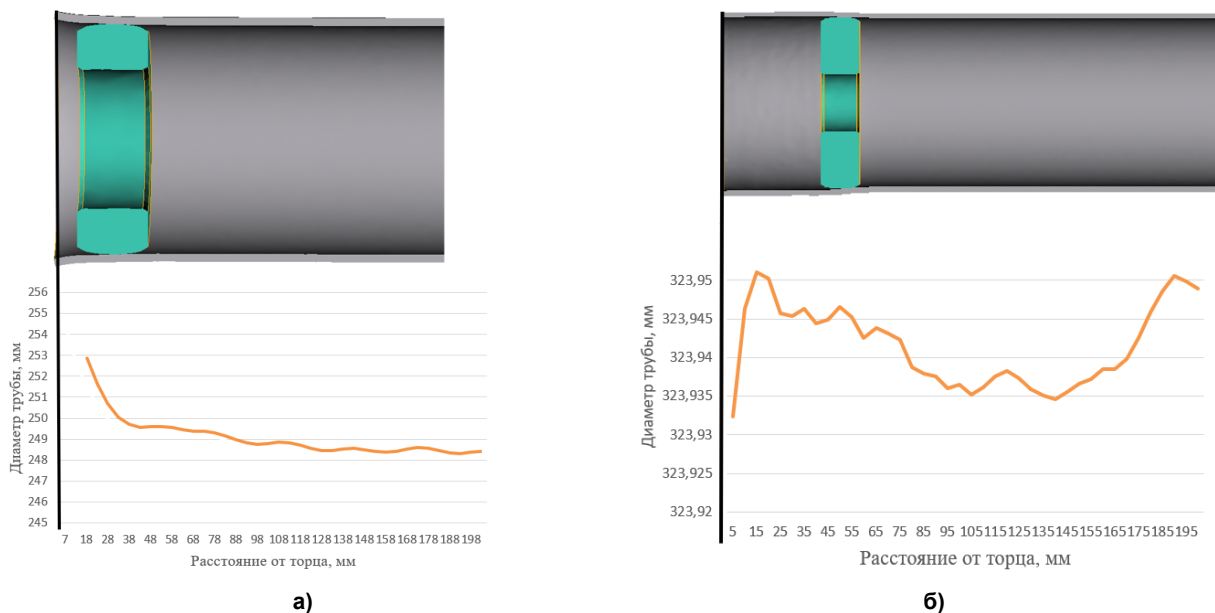


Рис. 7. Распределение диаметра трубы по ее длине после внутреннего формоизменения диаметра трубы размером 245 × 7,9 мм (а) и 324 × 9,5 мм (б)



Рис. 8. Схема расположения кольца и пуансона при калибровании труб согласно стратегии В

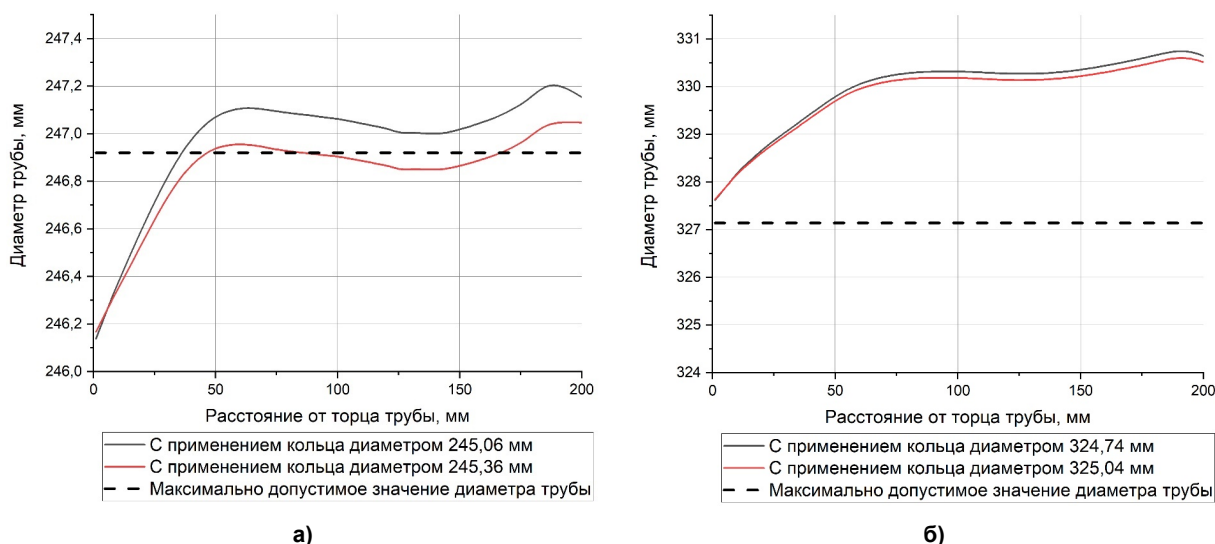


Рис. 9. Изменение диаметра трубы по ее длине после одновременного внутреннего и наружного формоизменения диаметра трубы размером 245 мм (а) и 324 мм (б)

При калибровании концов труб размером 245 × 7,9 мм используются пуансон диаметром 231,05 мм и кольцо диаметром 245,06 мм, так-

же допускается применение кольца диаметром 245,36 мм. Результаты моделирования по указанным параметрам представлены на рис. 9.

Данный вариант формоизменения с вариацией инструментов увеличивает диаметр выше максимально допустимого значения трубы. На рис. 9а видно, что применение кольца большего размера незначительно способствует уменьшению диаметра трубы относительно полученного при применении кольца диаметром 245 мм. Анализируя рис. 9б, также можно сделать вывод о том, что одновременное использование пуансона и кольца существенно повышает диаметр трубы.

Поэтому можно сделать вывод о том, что для реализации стратегий А, В, С необходимо произвести корректировку инструмента для корректного калибрования концов труб диаметром 245 мм.

### Заключение

1. На основе сравнительного анализа фактических и расчетных данных была достигнута необходимая точность в определении геометрических параметров (диаметра и толщины стенки) компьютерной модели. При этом отклонения от фактических значений не превышают 0,1 мм.

2. По результатам проведенного моделирования можно судить о том, что при формоизменении по стратегии А с имеющимся инструментом возможно получить трубы с требу-

емыми геометрическими параметрами для труб диаметром 324 мм. Для труб диаметром 245 мм необходима корректировка инструмента.

3. При моделировании калибрования концов труб диаметром 245 и 324 мм с использованием стратегии В в инструментах (внутреннее, наружное кольцо) с текущими геометрическими параметрами обеспечить требуемые геометрические показатели труб не представляется возможным. В то же время стратегия В за счет одновременного использования инструментов обеспечивает наименьшую овальность труб. Следовательно, при обеспечении процесса калибрования труб с использованием стратегии В необходимо произвести корректировку инструмента.

4. При моделировании стратегии С (увеличение диаметра труб при действии внутреннего инструмента) для труб диаметром 245 мм образуется небольшой раструб. Для труб сортаментом 324 мм данный раструб отсутствует. Данная особенность может быть обусловлена размерами диаметров пуансона.

5. Анализ результатов показал, что при формоизменении по стратегии D получаются наилучшие результаты. Однако это справедливо, когда трубы имеют низкую овальность. Для труб с повышенной овальностью необходимо использовать стратегию В.

### Литература

1. Нуцкова, М.В. Профилактика и ликвидация осложнений, возникающих при заканчивании скважин / М.В. Нуцкова, В.Н. Кучин, В.С. Ковальчук // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология, нефтегазовое и горное дело. – 2020. – Т. 20, № 1.
2. Семин, В.И. Современные методы проектирования резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента для строительства скважин: дис. ... д-ра техн. наук / В.И. Семин. – М., 2005. – 399 с.
3. Ананченко, В.Н. Особенности изготовления и контроля резьбы на трубах нефтяного сортамента / В.Н. Ананченко, И.К. Цыбрий, В.В. Моргунов // Вестник Донского государственного технического университета. – 2009. – Т. 9, № 51.
4. [https://www.tmkup.com/media\\_ru/files/17/tmk\\_up\\_rus.pdf](https://www.tmkup.com/media_ru/files/17/tmk_up_rus.pdf).
5. Дронов, А.И. Исследование и разработка технологии и инструмента для наружной высадки концов насосно-компрессорных труб из коррозионностойких сталей: дис. ... канд. техн. наук / А.И. Дронов. – Екатеринбург, 2018. – 174 с.
6. Butzke, J. Verfahrenstechnische Weiterentwicklung des Fused Layer Manufacturing zur Reduzierung der Anisotropie im Bauteil / J. Butzke. – Universitätsverlag der TU Berlin, 2019.
7. Brecher, C. Umformende und zerteilende Maschinen / C. Brecher, M. Weck // Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 1. – Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2019. – С. 41–111. DOI: 10.1007/978-3-662-46565-3\_3
8. Новое оборудование для калибровки концов труб / А.И. Толпин, Л.Н. Горячев, Н.И. Камарин и др. // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. – 1994. – № 11. – С. 41–42.

9. Патент RU 2564776 С2. Способ производства труб нефтяного сортамента под нарезку резьбы / В.В. Попков и др. – Оpubл. 10.10.2015.
10. Патент RU 2012103086 А. Способ подготовки высокопрочных труб нефтяного сортамента с температурой 500–720 °С после термообработки под нарезку резьбы / А.И. Грехов и др. – Оpubл. 10.08.2013, Бюл. № 22.
11. Ерпалов, М.В. Модернизация технологии высадки концов труб с целью повышения эффективности гидравлического пресса фирмы SMS MEER / М.В. Ерпалов, Г.Н. Кондратьева, А.А. Богатов // *Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: материалы междунар. молодеж. науч.-практ. конф., посвященной памяти чл.-корр. РАН, почетного доктора УрФУ В.Л. Колмогорова, г. Екатеринбург, 26–30 ноября 2013 г. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014. – С. 581–592. DOI: 10.17580/tsm.2020.04.02*
12. Проскуряков, Ю.Г. Объемное дорнование отверстий / Ю.Г. Проскуряков, В.Н. Романов, А.Н. Исаев. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
13. Калибрование концов обсадных труб / М. Меньщиков, Б.К. Зырянов и др. // *Сталь. – 1984. – № 1. – С. 56–57.*
14. Конечно-элементное моделирование технологических процессовковки и объемной штамповки: учеб. пособие / [А.В. Власов и др.]; под ред. А.В. Власова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана.
15. <https://www.qform3d.ru/>.

**Ахмеров Денис Альфредович**, инженер лаборатории моделирования технологических процессов, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»); аспирант кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; [ahmerovda@rosniti.ru](mailto:ahmerovda@rosniti.ru).

**Звонарев Дмитрий Юрьевич**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией моделирования технологических процессов, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; [zvonaREVdY@tnk-group.com](mailto:zvonaREVdY@tnk-group.com).

**Выдрин Александр Владимирович**, д-р техн. наук, профессор, заместитель генерального директора по научной работе, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; профессор кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; [vydrinav@rosniti.ru](mailto:vydrinav@rosniti.ru).

**Зинченко Максим Андреевич**, техник лаборатории моделирования технологических процессов, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; студент кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; [zinchenko@rosniti.ru](mailto:zinchenko@rosniti.ru).

**Павлова Маргарита Александровна**, старший инженер лаборатории моделирования технологических процессов, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; [pavlova@rosniti.ru](mailto:pavlova@rosniti.ru).

*Поступила в редакцию 10 сентября 2020 г.*

## ESTIMATION OF THE ACCURACY OF THE FORMATION OF THE ENDS OF PIPES DURING CALIBRATION

**D.A. Akhmerov**<sup>1, 2</sup>, [ahmerovda@rosniti.ru](mailto:ahmerovda@rosniti.ru),  
**D.Yu. Zvonarev**<sup>1</sup>, [zvonarevDY@tmk-group.com](mailto:zvonarevDY@tmk-group.com),  
**A.V. Vydrin**<sup>1, 2</sup>, [vydrinav@rosniti.ru](mailto:vydrinav@rosniti.ru),  
**M.A. Zinchenko**<sup>1, 2</sup>, [zinchenko@rosniti.ru](mailto:zinchenko@rosniti.ru),  
**M.A. Pavlova**<sup>1</sup>, [pavlova@rosniti.ru](mailto:pavlova@rosniti.ru)

<sup>1</sup> JSC "Russian Research Institute for the Tube and Pipe Industries" (JSC "RosNITI"), Chelyabinsk, Russian Federation,

<sup>2</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The main purpose of casing strings is to reinforce the well, ensure its tightness and contain soil pressure. At the ends of such pipes, threading is carried out that meets the tightness, for example, such as a premium connection TMK UP FMC. In this regard, increased requirements are imposed on the casing pipe both in terms of pipe ends and mechanical properties.

To ensure good quality threading, pipe ends must be prepared, for example using end sizing presses.

Currently, in the practice of sizing the ends, various methods are used, such as: distribution with an inner ring (punch), compression with an outer ring, joint use of an inner and outer ring, and a conical punch can also be used.

Different calibration schemes are used depending on the type of tool used and the original pipe geometry.

As a result of the work, the simulation in the QForm 3D environment of various strategies for calibrating pipe ends was carried out to determine the effectiveness of using various methods for calibrating pipe ends: strategy A – sequential shaping of pipe ends using a punch, outer and conical rings; strategy B – joint use of the punch and outer ring with subsequent conical calibration; strategy C – sequential shaping of the ends of the pipes using a punch and an outer ring, followed by conical calibration; strategy D – shape change of pipe ends only with a tapered ring.

*Keywords: pipe end sizing, pipe production, computer modeling, production technology, seamless hot rolled pipes, pipe defects, surface quality, threading seamless tubes, continuous rolling, physical modeling, experimental research, intercellular tension, wall thickness change.*

### References

1. Nutskova M.V., Kuchin V.N., Kovalchuk V.S. [Prevention and elimination of complications arising during well completion]. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology, Oil and Gas and Mining*, 2020, vol. 20, no. 1. (in Russ.)
2. Semin V.I. *Sovremennyye metody proyektirovaniya rez'bovykh soyedineniy trub neftegazovogo sortamenta dlya stroitel'stva skvazhin: dis. d-ra tekhn. nauk* [Modern methods of designing threaded connections of oil and gas pipes for the construction of wells. Doct. sci. diss.]. Moscow, 2005. 399 p.
3. Ananchenko V.N., Tsybriy I.K., Morgunov V.V. [Features of manufacturing and control of threads on oil grade pipes]. *Bulletin of the Don State Technical University*, 2009, vol. 9, no. S1. (in Russ.)
4. Available at: [https://www.tmkup.com/media\\_ru/files/17/tmk\\_up\\_rus.pdf](https://www.tmkup.com/media_ru/files/17/tmk_up_rus.pdf).
5. Dronov A.I. *Issledovaniye i razrabotka tekhnologii i instrumenta dlya naruzhnoy vysadki kontsov nasosno-kompressornykh trub iz korrozionnostoykikh staley: dis. kand. tekhn. nauk* [Research and development of technology and tools for the external landing of the ends of pump and compressor pipes made of corrosion-resistant steels. Cand. sci. diss.]. Ekaterinburg, 2018. 174 p.
6. Butzke J. *Verfahrenstechnische Weiterentwicklung des Fused Layer Manufacturing zur Reduzierung der Anisotropie im Bauteil*. Universitätsverlag der TU Berlin, 2019.



7. Brecher C., Weck M. Umformende und zerteilende Maschinen. *Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 1*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2019, pp. 41–111. DOI: 10.1007/978-3-662-46565-3\_3
8. Tolpin A.I., Goryachev L.N., Kamagin N.I. et al. New equipment for calibration of pipe ends. *News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy*, 1994, no. 11, pp. 41–42. (in Russ.)
9. Popkov V.V. et al. *Sposob proizvodstva trub neftyanogo sortamenta pod narezku rez'by* [Method of production of pipes of oil assortment under the thread]. Patent RU, no. 2564776 C2, 10.10.2015.
10. Grekhov A.I. et al. *Sposob podgotovki vysokoprochnykh trub neftyanogo sortamenta s temperaturoy 500–720 °C posle termoobrabotki pod narezku rez'by* [Method for preparing high-strength pipes of oil grade with a temperature of 500–720 °C after heat treatment for thread cutting]. Patent RU, no. 2012103086 A, 10.08.2013.
11. Erpalov M.V., Kondratieva G.N., Bogatov A.A. [Modernization of the technology of pipe end disembarkation in order to increase the efficiency of the SMS MEER hydraulic press]. *Innovative technologies in metallurgy and mechanical engineering: proceedings of the international youth scientific and practical conference, dedicated to the memory of corresponding member of the Russian Academy of Sciences, honorary doctor of Urfu V.L. Kolmogorov, Ekaterinburg, November 26–30, 2013*. Ekaterinburg, Ural University Press, 2014, pp. 581–592. (in Russ.) DOI: 10.17580/tsm.2020.04.02
12. Proskuryakov Yu.G., Romanov V.N., Isaev A.N. *Ob'yemnoye dornovaniye otverstiy* [Volumetric mandreling of holes]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984. 224 p.
13. Menshikov M., Zyryanov B.K. et al. [The calibration of the ends of the casing]. *Steel*, 1984, no. 1, pp. 56–57. (in Russ.)
14. Vlasov A.V. (Ed.) *Konechno-elementnoye modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov kovki i ob'yemnoy shtampovki: ucheb. posobiye* [Finite element modeling of technological processes of forging and volumetric stamping: textbook]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ.
15. Available at: <https://www.qform3d.ru/>.

Received 10 September 2020

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Оценка точности формоизменения концов труб при калибровании / Д.А. Ахмеров, Д.Ю. Звонарев, А.В. Выдрин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 39–47. DOI: 10.14529/met200405

#### FOR CITATION

Akhmerov D.A., Zvonarev D.Yu., Vydrin A.V., Zinchenko M.A., Pavlova M.A. Estimation of the Accuracy of the Formation of the Ends of Pipes during Calibration. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2020, vol. 20, no. 4, pp. 39–47. (in Russ.) DOI: 10.14529/met200405

---