

УДК 620.162

DOI 10.17513/snt.40652

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ РОЛИКОВЫХ ОПОР ДЛЯ ОПОРНО-НАПРАВЛЯЮЩИХ КОЛЕЦ

Сердюков Н.Д. ORCID ID 0000-0002-9026-9016,
Носенко В.А. ORCID ID 0000-0002-5074-1099, Чириков В.П.,
Кузнецов С.П. ORCID ID 0000-0002-6924-3380

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Волжский политехнический институт (филиал)
«Волгоградский государственный технический университет», Волжский,
Российская Федерация, e-mail: Serdyukov-nikita@mail.ru*

При строительстве переходов магистральных трубопроводов, прокладываемых через естественные и искусственные преграды, используют опорно-направляющие кольца, опоры которых выполняют в виде роликов. К опорам колец предъявляют особые требования, обеспечивающие их целостность в условиях высоких сжимающих нагрузок и сопротивление износу при протаскивании с учетом преодоления межтрубных сварных соединений. По результатам проведенных испытаний установлено, что после приложения нагрузки в десять килоньютонов деформация роликов отсутствует, на поверхности располагаются следы воздействия плиты гидравлического пресса. С увеличением нагрузки до двадцати килоньютонов и далее до пятидесяти деформация роликов непрерывно возрастает. Разрушение опоры происходит при нагрузке в семьдесят килоньютонов вследствие превышения предела прочности сварных соединений. В результате испытаний по определению износа опор установлено, что ввиду пересечения средневыборочных значений разницы между износом нижних роликовых опор нет. Конечное значение износа опор не превышает требуемое нормативной документацией, тем не менее установлен рост износа в зависимости от числа циклов протаскивания. Наиболее вероятной причиной роста износа является совокупность действия двух факторов, а именно абразивного и адгезионного износа.

Ключевые слова: роликовая опора, опорно-направляющие кольца, деформация опоры, предел прочности при сжатии

RESULTS OF PRACTICAL TESTS OF ROLLER BEARINGS FOR SUPPORT AND GUIDE RINGS

Serdyukov N.D. ORCID ID 0000-0002-9026-9016,
Nosenko V.A. ORCID ID 0000-0002-5074-1099, Chirikov V.P.,
Kunetsov S.P. ORCID ID 0000-0002-6924-3380

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Volga Polytechnic Institute (branch) "Volgograd State Technical University", Volzhsky, Russian Federation,
e-mail: Serdyukov-nikita@mail.ru*

When constructing trunk pipeline crossings laid through natural and artificial barriers, support and guide rings are used, the bearings of which are rollers. Special requirements are imposed on the ring bearings to ensure their integrity under high compressive loads and wear resistance during pulling, taking into account interpipe welded joints. Tests revealed that after applying a load of ten kilonewtons, there was no deformation of the rollers; traces of the impact of a hydraulic press plate were visible on their surface. As the load increased to twenty kilonewtons and then to fifty kilonewtons, roller deformation increased steadily. Support failure occurred at a load of seventy kilonewtons due to exceeding the tensile strength of the welded joints. Tests to determine support wear revealed that, due to the intersection of sample averages, there was no difference in the wear of the lower roller bearings. The final wear value of the bearings did not exceed that required by regulatory documentation; however, an increase in wear was observed depending on the number of pulling cycles. The most likely cause of increased wear is the combination of two factors, namely abrasive and adhesive wear.

Keywords: roller bearing, spacer, deformation of the support, compressive strength,

Введение

Строительство магистральных трубопроводов связано с преодолением естественных и искусственных препятствий, таких водные преграды, многолетние мёрзлые грунты, автомобильные дороги и инженерные сооружения [1, с. 227; 2; 3]. Наиболее распространенным методом преодоления препятствий является сооружение переходов

по типу «труба в трубе», при котором рабочую трубу протаскивают через предварительно установленный защитный кожух (футляр) [4]. Для протаскивания в кожухе на рабочий трубопровод устанавливают опорно-направляющие кольца, оборудованные роликовыми опорами качения, рекомендованные к использованию на переходах длиной более 400 метров [5; 6]. Пере-

ходы магистральных газо- и нефтепроводов относятся к ответственным участкам прокладки, поскольку в случае ремонта или устранения дефектов доступ к ним может быть ограничен.

К опорам колец предъявляют особые требования, обеспечивающие их целостность в условиях высоких сжимающих статических нагрузок и сопротивление износу при преодолении межтрубных сварных соединений, высота которых может достигать 4-5 мм [7; 8]. Недопустимой является деформация опор под воздействием сжимающей нагрузки находящейся в диапазоне 34-4440 Н, приходящихся на одну опору [9]. Нагрузка учитывает массу трубопровода и массу транспортируемого материала [10]. В случае разрушения роликовой опоры под воздействием сжимающей нагрузки возможен контакт трубопровода с поверхностью кожуха, вследствие чего происходит нарушение целостности изоляции трубопровода.

Протаскивание трубопровода в защитном кожухе сопровождается износом опор качения. Превышение износа выше 15% от диаметра ролика приводит к смещению оси рабочего трубопровода по отношению к оси кожуха, вследствие чего возрастает количество участков концентрации напряжений, вызванных ростом изгибающего момента в пролётах трубопровода [10; 11].

Несмотря на обширные исследования в области совершенствования технологии прокладки магистральных трубопроводов, вопрос влияния прикладываемой нагрузки на величину деформации роликовой опоры и определения износа роликов после протаскивания трубопровода в защитном кожухе, с учетом преодоления сварных соединений, изучен недостаточно.

Цель работы: испытание опор качения для определения величины деформации роликов в зависимости от величины приклады-

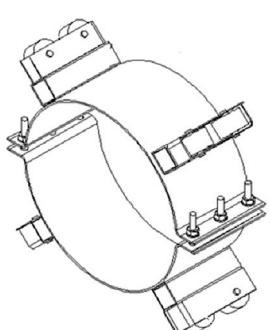
ываемой нагрузки и определение износа опор качения.

Материалы и методы исследования

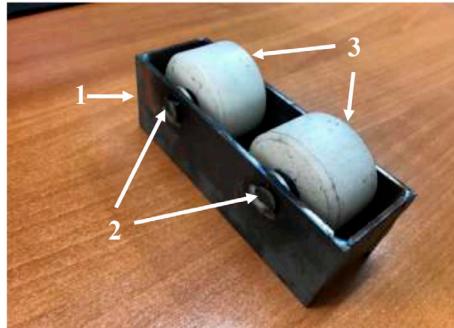
В качестве образцов для испытаний по определению величины деформации в зависимости от прикладываемой нагрузки использовали роликовые опоры опорно-направляющего кольца (рис. 1). Роликовая опора состоит из металлического корпуса (1), осей вращения (2) и двух роликов (3) (рис. 1б). Ролики изготовлены из стержневого полиамида марки ПА6, в тело ролика запрессованы стальные втулки, выполненные из стали 20. Размеры опор 140×65×42 мм. Диаметр роликов 50±0,1 мм, ширина 32±0,1 мм.

Испытания для определения деформации роликовых опор при воздействии сжимающей нагрузки проводили на испытательном стенде, построенном на базе гидравлического пресса П6326. На рабочий стол пресса устанавливали динамометр АЦД/1С 100/4И-2, в теле которого закрепляли роликовые опоры [12]. Фактическое значение нагрузки на роликовую опору увеличивали до требуемой НД – 4,4 кН, затем до 10 кН и далее через каждые 10 кН до разрушения опоры.

Испытания для определения износа опор после протаскивания и контроля смещения опорно-направляющих колец вдоль оси трубопровода проводили на стенде, имитирующем протаскивание с учетом преодоления межтрубных сварных соединений (рис. 2). Испытательный стенд представляет собой секцию трубопровода, заполненную бетоном в качестве балласта, на поверхность которой устанавливают опорно-направляющее кольцо. Опорно-направляющее кольцо изготовлено в соответствии с ТУ 1469-001-53597015-2012. Собранную секцию трубопровода помещают в секцию кожуха-футляра, с нанесенными на поверхность имитаторами сварных швов.

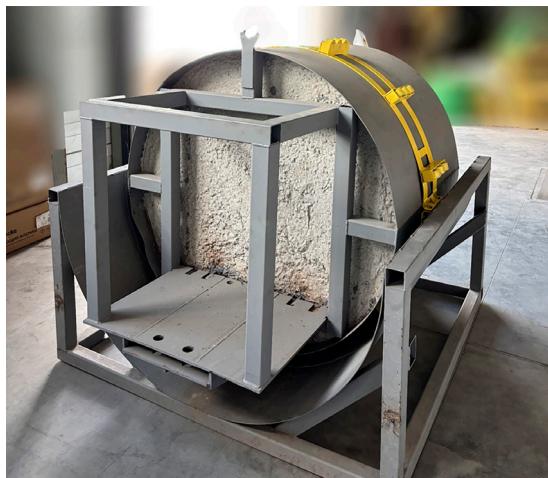


(a)



(б)

Рис. 1. Схема опорно-направляющего кольца (а), опора качения (б)
Источник: составлено авторами



*Рис. 2. Испытательный стенд
Источник: составлено авторами*

Количество циклов, обеспечивающих возвратно-поступательные продольные осевые перемещения трубопровода – 50. Количество пройденных имитаторов сварных швов – 200. Высота имитатора сварного шва – 3 мм, длина – 15 мм. В качестве имитатора трубопровода использовали секцию трубы диаметром 1220 мм, с толщиной стенки 10 мм, длина 1000 мм, заполненной бетонным раствором марки М200. Таким образом была достигнута максимально возможная масса трубопровода с учетом транспортируемого продукта – 2023 кг. Диаметр имитатора кожуха – 1420 мм [9].

Результаты исследования и их обсуждение

В результате оценки деформации роликовых опор после приложения сжимающей нагрузки установлено, что при нагрузке в 10 кН деформация отсутствует, на периферии роликов наблюдаются следы воздействия

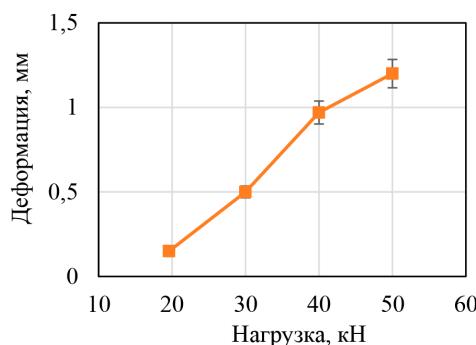
пластины гидравлического пресса. С увеличением нагрузки до 20 кН происходит пластическая деформация ролика до 0,15 мм относительно его исходного состояния. С увеличением нагрузки до 30 кН деформация возрастает до 0,5 мм, затем с увеличением нагрузки до 40 и далее до 50 кН деформация составляет 0,97 и 1,2 мм соответственно (рис. 3а).

С увеличением нагрузки до 70 кН происходит разрушение роликовой опоры в результате превышения предела прочности сварных соединений, а именно мест крепления оси ролика к корпусу опоры в месте соединения двух секций корпуса. Наблюдаются прогиб осей вращения в корпусе опоры, разрушение втулок. Деформация роликов превышает 10 мм, на поверхности располагается множество микротрещин (рис. 3б).

Опорно-направляющие кольца устанавливают на трубопровод непосредственно перед протаскиванием в кожухе-футляре. Верхние сегменты опорно-направляющих колец, в зависимости от условий эксплуатации, изготавливают с опорами или без опор. В данной работе использовали кольцо без верхних опор, аналогично представленному на рисунке 4а.

В процессе протаскивания трубопровода основная эксплуатационная нагрузка приходится на опоры 2-5, находящиеся непрерывно в контакте с поверхностью кожуха (рис. 4б). Опоры 1-6 выступают в роли поддерживающих, ограничивая радиальное перемещение трубопровода внутри кожуха.

В результате проведенных испытаний по определению износа опор после 50 циклов возвратно-поступательных продольных осевых перемещений имитатора трубопровода установлено, что износ опор 2-5 значительно не отличается друг от друга ввиду пересечения доверительных интервалов средневыборочных значений (рис. 5).



(a)



(б)

*Рис. 3. Деформация роликовой опоры (а), разрушение роликовой опоры (б)
Источник: составлено авторами*

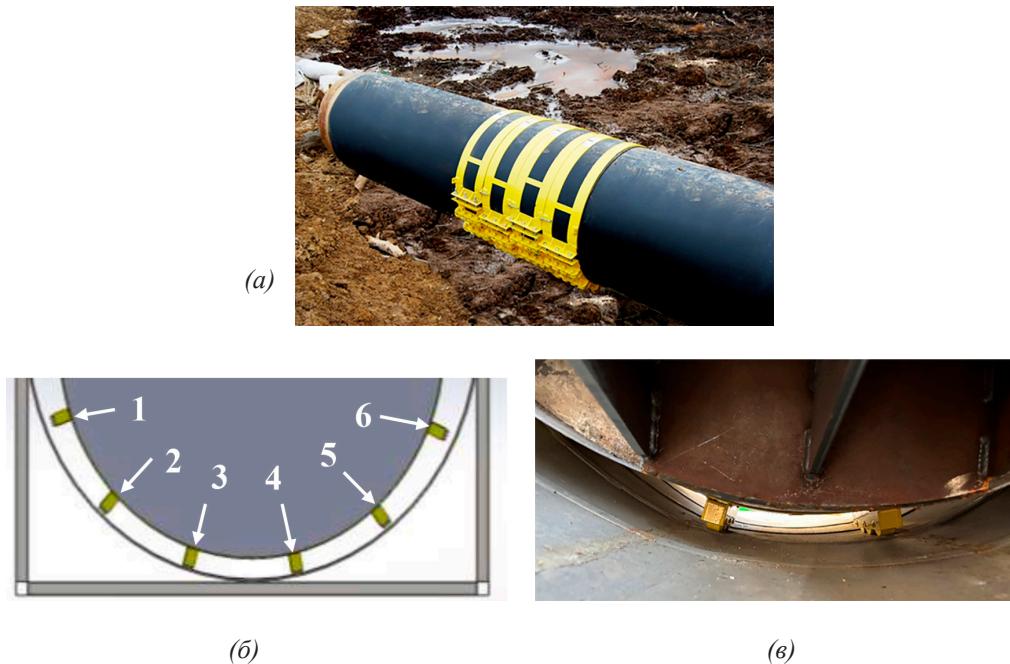


Рис. 4. Установка опорно-направляющих колец (а) и расположение роликовых опор (б, в)
Источник: составлено авторами

Доверительные интервалы были рассчитаны на основе t -распределения Стьюдента для выборки объемом $n=15$ измерений на каждой опоре, уровень значимости $\alpha=0,95$.

С увеличением числа циклов перемещения трубопровода происходит постепенный рост износа роликовых опор, достигая 1,8–2,0 мм, что составляет 4% от первоначального диаметра ролика, находясь в допустимом пределе, установленном в [9] (пороговое значение 15%).

В диапазоне 0–10 циклов перемещения износ практически отсутствует, достигая 0,1 мм. На периферии роликов наблюдаются следы контакта с поверхностью кожуха, что может свидетельствовать о начальной стадии изнашивания опор. С увеличением количества циклов с 10 до 20 износ опор возрастает скачкообразно – до $1,2 \pm 0,1$ мм, что связано с этапом приработки роликов. Шероховатость поверхности роликов формируется в результате токарной обработки полиамида по внешней поверхности, значение среднеарифметического отклонения профиля находится в пределах 1,6–3,2 мкм. Микронеровности роликов, сформированные механической обработкой, в процессе приработки интенсивно истираются о поверхность кожуха, что приводит к резкому увеличению износа опор.

С увеличением количества циклов до 30 и 40 износ возрастает до величин 10% и 17% соответственно. С увеличением ко-

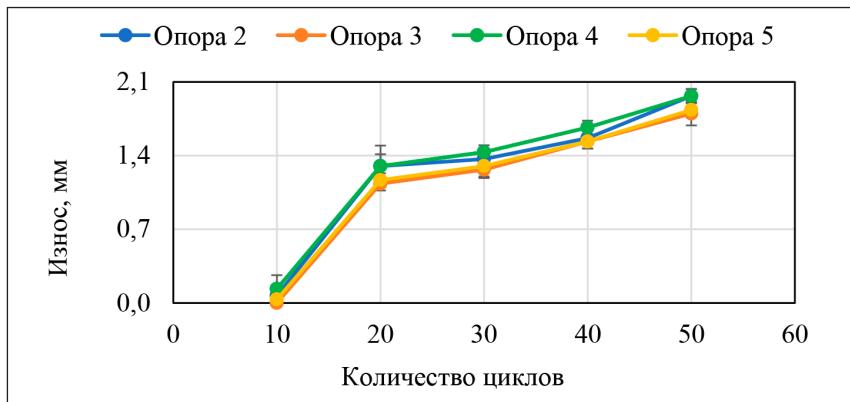
личества циклов до 50 величина износа роликовых опор составила 20%. Износа опор 1, 6 не установлено. Смещения опорно-направляющих колец относительно исходного положения вдоль оси трубопровода не установлено.

Одной из наиболее вероятных причин возрастания износа по мере увеличения количества циклов является совокупное действие абразивного и адгезионного механизма изнашивания [13; 14].

Абразивный износ возникает в результате воздействия твердых загрязняющих частиц, присутствующих в зоне контакта полиамида и металлического кожуха. Наличие загрязняющих частиц приводит к образованию микроцарапин, борозд, канавок в направлении движения качения, что вызывает потерю материала ролика.

В условиях реальной прокладки трубопроводов возможно загрязнение поверхности кожуха частицами песка, грунта и др., что приводит к увеличению износа опор. Для определения возможных условий загрязнения необходимо провести дополнительные испытания, учитывающие различную степень абразивного загрязнения.

Адгезионный износ возникает при взаимодействии относительно мягкого полиамида с поверхностью стального кожуха. В зоне контакта происходит рост контактных температур, что приводит схватыванию полиамида с поверхностью стального кожуха и увеличению работы силы трения [15].



*Рис. 5. Испытания опорно-направляющего кольца
Источник: составлено авторами*

Интенсификация адгезионных процессов в зоне контакта может сопровождаться переносом материала роликов на поверхность кожуха в виде налипов, что вызывает рост коэффициента трения и, как следствие, усиление изнашивания опор.

Заключение

По результатам проведенных исследований установлено, что при приложении нагрузки в 10 кН на роликовую опору деформация отсутствует. Наибольшее значение деформации роликов достигнуто при приложении нагрузки в 50 кН, значение составило 0,15 мм. Разрушение роликовой опоры наступает при приложении нагрузки в 70 кН.

Установлено, что износ роликовых опор в рамках проведенных испытаний носит комплексный характер, объединяя абразивный и адгезионный механизм изнашивания. Влияние абразивного загрязнения поверхности кожуха требует отдельного изучения в рамках дальнейших исследований.

Наибольший рост износа опор соответствует 20 циклам возвратно-поступательного перемещения имитатора трубопровода по поверхности кожуха. С увеличением количества циклов с 10 до 20 износ возрастает от 0 до 1,2 мм, максимальное значение износа соответствует 50 циклам – 2,0 мм, находясь в пределах допустимых значений.

Список литературы

- Бородавкин П.П., Березин В.Л. Сооружение магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1977. 407 с.
- Сердюков Н.Д. Исследование и разработка уплотнителя межтрубья магистрального трубопровода и защитного кожуха-футляра при строительстве переходов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2020. № 3-4 (254-255). С. 38-43. EDN: JEGFLL.
- Колосова Н.М., Михеева О.В., Шмагина Э.Ю. К анализу напряженного состояния изгиба трубопровода по высот-
- ному положению // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2016. № 2 (16). С. 5-8. EDN: VUYOCN.
- Ilinca C. Enhancing the integrity of a buried gas pipelines: Investigating ruptures, explosions, and strengthening solutions // Engineering Failure Analysis. 2024. Vol. 155. P. 1-16. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2023.107738.
- Сердюков Н.Д., Сердюков Е.Д. Опора качения для опорного кольца. Патент № 2832726. Патентообладатель ООО «Переход». 2024. EDN: NGZLWD.
- Леденев С.А., Марадымов И.А., Анализ эффективности опорно-направляющих колец с различными типами опор для протяжки трубопроводов // Научный альманах. 2024. № 10-3 (120). С. 68-71. EDN: PBNFJB.
- СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*. Введ. 01.07.2013. М.: Госстрой, ФАУ «ФЦС», 2012. 93 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103173?ysclid=mb94jgf9oa755638174> (дата обращения: 15.10.2025).
- Горшкова О.О. Сварка магистральных нефте- и газопроводов // Современные научно-технические технологии. 2020. № 2. С. 7-11. EDN: UQHSAF. DOI: 10.17513/snt.37906.
- Р Газпром 2-4.4.-828-2014. Опорно-центрирующие изделия. Технические требования. СПб.: ООО «Газпром экспо», 2016. 32 с.
- Кожаева К.В., Мустафин Ф.М., Быков Л.И., Файзулин С.М. Методика определения критического продольного скользящего усилия для подводных переходов трубопроводов // Нефтегазовое дело. 2015. № 3. С. 346-359. EDN: UACKZR.
- Qui G., Sun M. Interaction Mechanism of Inter-Pipes in Double-Layer Pipelines and a Mechanical Model with Differential Thermal Deformation // Processes. 2025. Vol. 13. P. 762-794. DOI: 10.3390/pr13030762.
- Селезнев Е.И., Жмыхов М.Э., Бабаскина А.А. Электрический динамометр: устройство, классификация, принципы работы // Новое слово в науке: перспективы развития. 2016. № 4-1 (10). С. 245-248. EDN: VHMNYA.
- Neis P. D., Ferreria N. F., Poletto J. C., etc. Tribological behavior of polyamide-6 plastics and their potential use in industrial applications // Wear. 2017. Vol. 376-377. P. 1391-1398. DOI: 10.1016/j.wear.2017.01.090.
- Unal H., Yetgin S. H., Kastan A., etc. Improving the specific wear rate and coefficient of friction of polyamide 6 polymer and its composite by adding wax under self-operation conditions // Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. 2023. Vol. 54. P. 1249-1260. DOI: 10.1002/mawe.202200057.
- Pogacnik A., Kupec A., Kalin M. Tribological properties of polyamide (PA6) in self-mated contacts and against steel as a stationary and moving body // Wear 2017. Vol. 378-379. P. 17-26. DOI: 10.1016/j.wear.2017.01.118.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.