

УДК 679.748: [621.65+622.276.53]

Ш.А. Алиев¹, e-mail: mr.aliev111@mail.ru; **А.В. Зиновьев¹**, e-mail: zinoviev240894@gmail.com;

А.В. Деговцов¹, e-mail: degovtsov.aleksey@yandex.ru; **С.С. Пекин¹**, e-mail: pekinss@gmail.com

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия).

Исследования прочностных свойств канатов различной конструкции, используемых в качестве канатных штанг, при действии сжимающих нагрузок

В статье рассмотрены вопросы применения канатов различной конструкции в скважинных насосных установках с канатной штангой, предназначенных для эксплуатации скважин с боковыми стволами малого диаметра. Требования к прочности и модулю упругости канатов при использовании их в качестве канатной штанги обусловлены тем, что штанга устанавливается в месте интенсивного набора кривизны и снижает контактные напряжения в паре «насосно-компрессорная труба – канатная штанга».

Приведены результаты проведенных в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина стендовых испытаний по определению усилий, приводящих к потере устойчивости (распушению) образцов канатных штанг различной конструкции. Представлена методика испытаний, дано описание стенда для проведения испытаний образцов канатов, обеспечивающего условия нагружения образцов, идентичные условиям работы канатной штанги в скважине. Максимально возможная сжимающая нагрузка испытательного стенда составляла 11380 Н.

В качестве образцов для исследования прочностных свойств канатов под воздействием сжимающих нагрузок были выбраны канат закрытой конструкции $d = 20$ мм с фигурными Z-образными проволоками, пластически обжатый канат $d = 21,7$ мм и канат закрытой конструкции $d = 20$ мм с полимерным покрытием.

Установлено, что покрытие каната слоем полимера толщиной 0,65 мм существенно увеличивает надежность канатной штанги и дает хорошую устойчивость к сжимающим нагрузкам.

Даны рекомендации по использованию канатов различных конструкций в качестве колонны насосных штанг и максимально возможной разгрузки колонны штанг при посадке плунжера в цилиндр насоса.

Ключевые слова: канатная штанга, плунжер, насосно-компрессорная труба, нагружение, полимерное покрытие, конструкция каната, фигурная проволока.

.....

Sh.A. Aliev¹, e-mail: mr.aliev111@mail.ru; **A.V. Zinoviev¹**, e-mail: zinoviev240894@gmail.com;

A.V. Degovtsov¹, e-mail: degovtsov.aleksey@yandex.ru; **S.S. Pekin¹**, e-mail: pekinss@gmail.com

¹ Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education «Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)» (Moscow, Russia).

Studies of the Strength Properties of Various Designs Ropes, used as Rope Rods, under the Action of Compressive Loads

The article discusses the matters related to applications of cable lines of various designs in oil well pumping units with cable rods intended for operation of wells with minor diameter sideholes. The strength and elastic modulus requirements set for cable ropes if applied as a cable rod are conditioned by its installation at the point of drift angle intensive buildup thus reducing contact stresses in the couple “tubing – cable rod”. The article gives the bench test results carried out by the specialists of Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) to identify stresses causing instability (flaking) of test cable rods different in designs. The test procedure is presented, the cable rod test bench ensuring stressing conditions identical to the ones for rod operation in wells is also described. The maximum possible test bench compression load was 11,380 N. To examine strength properties of cable ropes under compression loads the following specimen were chosen: a closed-coil rope $d = 20$ mm with figured Z-wires, a plastically compressed rope $d = 21.7$ mm, and a closed-coil polymer coated rope $d = 20$ mm. It has been established that the rope polymer

coating as thick as 0.65 mm significantly reduces cable rod reliability and ensures better stability to compression loads. The recommendations on applications of cable ropes of different designs as a string of rods and maximum possible unloading of the string in plunger fitting into the pump barrel are given.

Keywords: cable rod, plunger, tubing, stressing, polymer coating, cable design, figured wire.

Скважинные насосные установки (СНУ) с канатной штангой (КШ) используются для промышленной эксплуатации более 85 скважин с боковыми стволами в компаниях ПАО «НК «ЛУКОЙЛ» (ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь», ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»), ПАО «НК «РОСНЕФТЬ» (АО «Самолорнефтегаз», АО «Самаранефтегаз», АО «Оренбургнефть», ОАО «Удмуртнефть»), ООО «УК «Шешмаойл», АО «Зарубежнефть», ООО «УралОйл». Кроме того, ряд нефтедобывающих компаний России и мира проводят опытно-промышленные испытания СНУ с КШ.

Столь активное использование СНУ с КШ для эксплуатации скважин с боковыми стволами малого диаметра (БСМД) обуславливает актуальность разработок, направленных на совершенствование данного вида оборудования, к числу которых, в частности, относится установка, созданная специалистами кафедры «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина совместно с ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь».

Данная установка включает в себя привод в виде станка-качалки, штангового насоса обычной или специальной конструкции, колонны канатных штанг, устанавливаемой в месте интенсивного набора кривизны [1]. При этом канаты, используемые в качестве колонны штанг, должны обладать достаточной прочностью и характеризоваться определенным модулем упругости. Такими свойствами обладают канаты закрытой конструкции и пластически обжатые [2]. На сегодняшний день в качестве канатных штанг применяются в основном специальные канаты закрытой конструкции с Z- и X-образными проволоками [3, а также СТО-34269720-ТУ



Рис. 1. Потеря устойчивости (распушение) канатной штанги в скважине в процессе эксплуатации под действием сжимающих нагрузок

Fig. 1. Loss of stability (fluffing) of the cable rod in the well during operation under the action of compressive loads

012–2018 «Канаты закрытой конструкции для производства канатной штанги. Технические условия»].

МЕТОДИКА СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ КАНАТНЫХ ШТАНГ НА СЖАТИЕ

Для нормальной работы канатной штанги применяются насосы специальной конструкции, обеспечивающие растягивающую нагрузку на штанги при ходе плунжера насоса вниз [4]. Однако при монтаже плунжера или в процессе эксплуатации (из-за большой кривизны, асфальтосмолопарафиновых отложений, подклинивания плунжера и т. д.) на канатные штанги могут действовать сжимающие нагрузки, приводящие к потере устойчивости каната и его распушению (рис. 1). При дальнейшей работе установки из-за переменного изгиба в месте распушения происходят

разрушение проволок канатной штанги и ее обрыв.

В целях определения усилий, приводящих к потере устойчивости (распушению) канатных штанг различной конструкции, в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина были проведены стендовые испытания образцов канатных штанг на сжатие.

Для этого была разработана методика проведения испытаний и спроектирован специальный стенд, обеспечивающий условия нагружения канатной штанги, идентичные условиям работы канатной штанги в скважине. Схема стенда представлена на рис. 2.

В соответствии с методикой испытаний образец канатной штанги 4 устанавливался в прозрачную трубу 7 между ходовой втулкой 8 и зажимной втулкой 2. Усилие сжатия образца обеспечивалось гидроцилиндром 9 при помощи

Ссылка для цитирования (for citation):

Алиев Ш.А., Зиновьев А.В., Деговцов А.В., Пекин С.С. Исследования прочностных свойств канатов различной конструкции, используемых в качестве канатных штанг, при действии сжимающих нагрузок // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2019. № 6. С. 52–57.

Aliiev Sh.A., Zinoviev A.V., Degovtsov A.V., Pekin S.S. Studies of the Strength Properties of Various Designs Ropes, used as Rope Rods, under the Action of Compressive Loads. Territorija «NEFTEGAS» [Oil and Gas Territory]. 2019;6:52–57. (In Russ.)

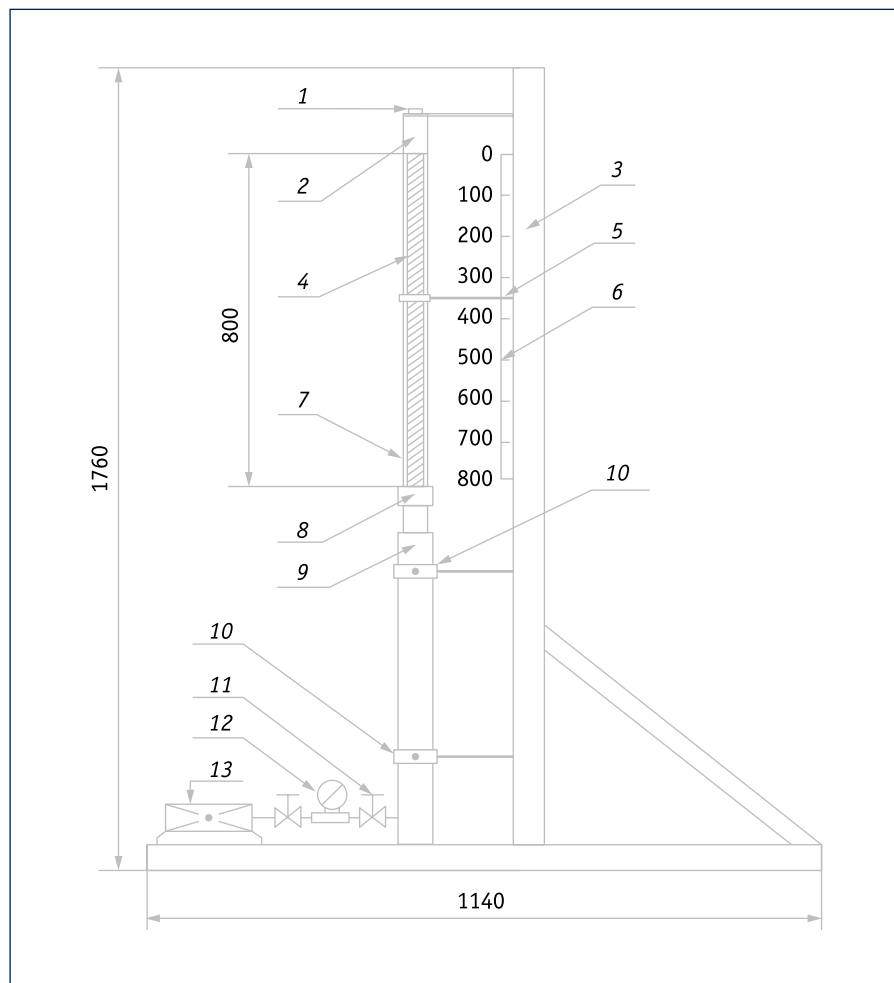
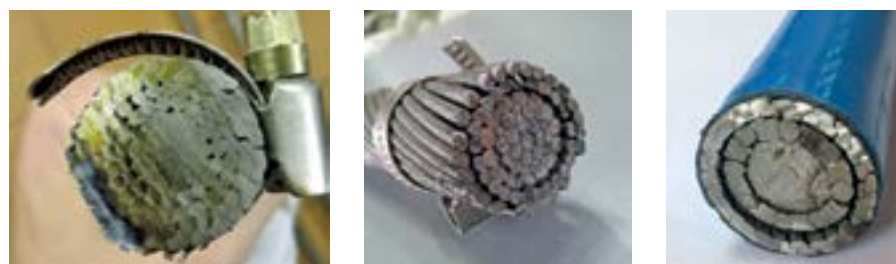


Рис. 2. Схема стенда для проведения испытания образцов канатной штанги на сжатие:
 1 – уголок; 2 – втулка зажимная; 3 – рама; 4 – образец канатной штанги; 5 – шпилька; 6 – мерная линейка; 7 – прозрачная пластиковая труба; 8 – втулка ходовая; 9 – гидроцилиндр; 10 – хомут; 11 – кран; 12 – манометр; 13 – гидравлический ручной насос

Fig. 2. The scheme of the stand for testing samples of the cable rod in compression:
 1 – angle; 2 – dog-type liner; 3 – skid; 4 – sample of a cable rod; 5 – locking pin; 6 – graduated scale; 7 – transparent plastic pipe; 8 – traveling sub; 9 – hydraulic cylinder; 10 – pipe strap; 11 – valve; 12 – pressure meter; 13 – hydraulic manual pump



а) а)

б) б)

в) в)

Рис. 3. Образцы канатов:
 а) закрытой конструкции $d = 20$ мм с фигурными Z-образными проволоками (образец № 1);
 б) пластически обжатого $d = 21,7$ (образец № 2); в) закрытой конструкции $d = 20$ мм с полимерным покрытием (образец № 3)

Fig. 3. Samples of ropes: а) rope of a closed construction $d = 20$ mm with figured Z-shaped wires (sample No. 1); б) plastically crimped rope $d = 21.7$ (sample No. 2); в) rope of a closed construction $d = 20$ mm with polymer coated (sample No. 3)

гидравлического ручного насоса 13. Перемещение и измерение диаметра образца осуществлялось при помощи мерной линейки 6, усилие сжатия определялось при помощи манометра 12. В целях максимального приближения условий стендовых испытаний к скважинным была выбрана прозрачная труба с внутренним диаметром $d = 50$ мм, что соответствует внутреннему диаметру насосно-компрессорных труб (НКТ) 60 согласно [5].

Испытанию были подвергнуты три образца канатов длиной 820 мм (рис. 3):

- канат закрытой конструкции $d = 20$ мм с фигурными Z-образными проволоками (образец № 1);

- пластически обжатый канат $d = 21,7$ мм (образец № 2);

- канат закрытой конструкции $d = 20$ мм с полимерным покрытием (образец № 3) (СТО-34269720-ТУ 012-2018 «Канаты закрытой конструкции для производства канатной штанги. Технические условия»).

Перед установкой образца канатной штанги на стенд производился визуальный осмотр на предмет выявления наличия повреждений, дефектов, трещин и возможных несплошностей.

Нагружение образцов канатной штанги проводилось до начала потери устойчивости (распушения) образцов, шаг нагружения составлял 981 Н. Начало распушения – момент, когда Z-образные проволоки наружного слоя полностью вышли из зацепления друг с другом, в случае с обжатым канатом – когда зазор между проволоками наружного слоя равен диаметру проволок. В ходе испытания фиксировались диаметр каната и перемещение нижней части образца, закрепленного в подвижной ходовой втулке. Кроме того, производился визуальный контроль состояния образца для определения момента начала распушения (начала выхода проволок наружного слоя каната из зацепления). После фиксации начала момента распушения испытание образца продолжалось в целях определения максимально возможной деформации проволок.

По завершении испытаний были произведены замеры максимального диаметра канатной штанги в зоне распушения и остаточной длины.

Результаты прочностных испытаний канатов разных конструкций
Results of strength tests of ropes of different designs

№ образца Sample No.	Нагрузка, вызывающая распушение образца, Н Load causing fluffing of the sample, N	Осевая деформация образца, мм Axial deformation of the sample, mm	Шаг винтовой линии на $L = 820$ мм Lead of a helix with $L = 820$ mm
1	8436	36	450
2	1962	9	560
3	11380*	33	450

* Максимальное усилие, создаваемое стендом и воспринимаемое образцом, при котором распушения образца не произошло.

* Maximum stressing force created by the stand and carried by the sample, which not causing fluffing of the sample.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

В таблице приведены основные результаты испытаний прочностных свойств канатов разных конструкций при действии сжимающих нагрузок.

Испытания образца № 1 показали, что при воздействии осевой нагрузки до начала распушения происходит деформация образца по винтовой линии по направлению свивки наружного слоя. Распушение каната закрытой конструкции $d = 20$ мм с фигурными Z-образными проволоками происходит в нижней части со стороны действия осевой нагрузки (рис. 4). Усилие, при котором произошло распушение образца, составило 8436 Н.

После распушения осевая деформация образца происходит практически без роста нагрузки. После снятия нагрузки наблюдается остаточная деформация проволок в месте распушения, максимальный диаметр образца составил $d_{max} = 40,9$ мм, остаточная длина $L_{ост} = 800$ мм (рис. 5).

Результаты испытаний показали, что использовать пластически обжатый канат в качестве канатной штанги не рекомендуется, поскольку он не рассчитан на восприятие сжимающих нагрузок.

При испытании пластически обжатого каната $d = 21,7$ мм (образец № 2) с увеличением нагрузки до 1960 Н наблюдается увеличение зазора между проволоками и отслаивание наружного слоя, распушение зафиксировано у нижней ходовой и верхней нажимной втулок (рис. 6).

С дальнейшим увеличением нагрузки продолжаются распушение образца пластически обжатого каната, увеличение шага винтовой линии и деформация каната. При нагрузке 9016 Н наблюдалось полное заполнение сечения пластиковой трубой диаметром 50 мм.



Рис. 4. Испытание образца каната закрытой конструкции $d = 20$ мм с фигурными Z-образными проволоками

Fig. 4. Test sample of the rope closed design $d = 20$ mm with shaped Z-shaped wires



Рис. 5. Остаточная деформация проволок образца каната закрытой конструкции $d = 20$ мм с фигурными Z-образными проволоками

Fig. 5. Residual deformation of the sample wire rope of a closed construction $d = 20$ mm with figured Z-shaped wires



Рис. 6. Увеличение зазора между проволоками и отслаивание наружного слоя в результате испытания образца пластически обжатого каната $d = 21,7$ мм

Fig. 6. Increasing the gap between the wires and peeling the outer layer after the test of the sample plastically compressed rope $d = 21.7$ mm

После снятия нагрузки с образца пластически обжатого каната наблюдались остаточная деформация и зазор между проволоками. Однако после демонтажа образца со стенда через некоторое время зазор между проволоками был равен половине диаметра проволоки наружного слоя.



Рис. 7. Испытание образца каната закрытой конструкции $d = 20$ мм с полимерным покрытием
Fig. 7. The test of the sample of the cable closed design $d = 20$ mm with a polymer coating



Рис. 8. Образцы канатов после проведения прочностных испытаний (сверху вниз): пластически обжатый канат; канат закрытой конструкции; канат с полимерным покрытием
Fig. 8. Samples of ropes after carrying out strength tests (from top downward): plastically compressed rope; rope of a closed structure; rope with a polymer coating

Наилучшие результаты показал канат закрытой конструкции с полимерным покрытием, не потерявший устойчивости (не распушившийся) при воздействии максимально возможной сжимающей нагрузки испытательного стенда, равной 11380 Н, что существенно выше, чем у остальных образцов. При проведении испытаний каната с полимерным покрытием с увеличением

усилия происходило скручивание образца по винтовой линии, повреждений полимерного покрытия не наблюдалось (рис. 7), при этом сжимающее усилие достигало 11380 Н. Дальнейшее увеличение нагрузки было невозможно в связи с особенностями конструкции стенда. На рис. 8 представлены образцы канатных штанг после испытаний. На рисунке образец каната закрытой конструкции

$d = 20$ мм с фигурными Z-образными проволоками остался в деформированном состоянии, что вызвано выходом Z-образных проволок из зацепления. Образец пластически обжатого каната восстановил свое первоначальное состояние после снятия нагрузки. Это связано с тем, что у него нет замка наружного слоя проволок, а также с тем, что при изготовлении таких канатов проволоки получают остаточные напряжения. Канат закрытой конструкции с полимерным покрытием не имеет остаточной деформации, полимерное покрытие полностью сохранило свою целостность.

Для обеспечения невозможности распушения каната предлагается максимально допустимые сжимающие нагрузки для испытанных канатов уменьшить в 1,3 раза (коэффициент запаса устойчивости).

ВЫВОДЫ

1. При возникновении сжимающего усилия на канатную штангу общая деформация всех образцов происходит по винтовой линии, по направлению свивки наружного слоя.
2. При использовании пластически обжатых канатов в качестве канатных штанг необходимо не допускать воздействия осевых сжимающих нагрузок.
3. Канаты закрытой конструкции $d = 20$ мм с фигурными Z-образными проволоками допускают воздействие сжимающих нагрузок величиной не более 8200 Н, что позволяет разгружать колонну штанг на величину не более 6300 Н для обеспечения посадки плунжера штангового насоса в цилиндр при проведении монтажных работ.
4. Полимерное покрытие канатных штанг препятствует распушению проволок каната под воздействием сжимающих нагрузок, что значительно повышает их надежность при эксплуатации скважин с боковыми стволами малого диаметра.
5. Для повышения надежности при эксплуатации скважинных насосных установок с канатными штангами сжимающие нагрузки на канатные штанги допускается создавать только при посадке и подгонке плунжера скважинного штангового насоса.

Литература:

1. Ивановский В.Н., Деговцов А.В., Сабиров А.А. и др. Опыт эксплуатации скважин с боковыми стволами малого диаметра насосными установками с канатной штангой в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2015. №3. С. 78–87.
2. Ивановский В.Н., Деговцов А.В., Пекин С.С. и др. Испытание образцов пластически обжатых канатов на растяжение // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2015. №11. С. 93–97.
3. Канатная насосная штанга: патент 2527275 Российская Федерация; МПК F04B 47/02, E21B 17/00/В.Н. Ивановский, А.А. Сабиров, А.В. Деговцов, С.С. Пекин; патентообладатель ООО «Центр образования, науки и культуры имени И.М. Губкина»; №2013128630/06; заявл. 24.06.2013; опубл. 27.08.2014, Бюл. №24. 10 с.
4. Алиев Ш.А., Деговцов А.В. Разработка нового оборудования для скважинных насосных установок с канатной штангой и анализ их надежности при эксплуатации боковых стволов малого диаметра // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. 2018. №1 (290). С. 39–49.
5. ГОСТ Р 52205–2004. Угли каменные. Метод спектрометрического определения генетических и технологических параметров [Электронный источник]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-52205-2004> (дата обращения: 31.05.2019).

References:

1. Ivanovskiy V.N., Sabirov A.A., Degovtsov A.V., et al. Experience in the Operation of Wells with Side Holes of Small Diameter Pumping Units with the Cable Rod in LUKOIL-Perm LLC. Territorija "NEFTEGAS" [Oil and Gas Territory]. 2015;3:78–87. (In Russ.)
2. Ivanovskiy V.N., Degovtsov A.V., Pekin S.S., et al. Testing the Samples of Plastically Pressed Ropes for Tension. Territorija "NEFTEGAS" [Oil and Gas Territory]. 2015;11:93–97. (In Russ.)
3. Cable Pumping Rod: patent 2527275 Russian Federation; IPC F04B 47/02, E21B 17/00. Authors: V.N. Ivanovskiy, A.A. Sabirov, A.V. Degovtsov, S.S. Pekin. Patent holder Gubkin Center of Training, Research and Culture LLC; No. 2013128630/06; applied 24th June 2013; published 27th August 2014, Bull. No. 24, 10 p. (In Russ.)
4. Aliyev Sh.A., Degovtsov A.V. New Equipment for Downhole Sucker Rod Pumping Unit. Development and Reliability Analysis in Small Diameter Side Tracks. Trudy Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza im. I.M. Gubkina [Proceedings of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)]. 2018;1(290):39–49. (In Russ.)
5. National Standard of the Russian Federation (GOST R) 52205-2004. Hard Coals. Method for the Spectrometric Determination of Genetic and Technological Parameters. Weblog. Available from: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-52205-2004> [Accessed 31th May 2019]. (In Russ.)

XIII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



Нефтедобыча. Нефтепереработка. Химия.

ВСЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОТРАСЛИ

22–24 ОКТЯБРЯ 2019
• САМАРА •

УЧАСТНИКИ ВЫСТАВКИ:

АО «САМАРАНЕФТЕГАЗ»

АО «КУЙБЫШЕВСКИЙ НПЗ»

АО «НОВОКУЙБЫШЕВСКИЙ НПЗ»

АО «СЫЗРАНСКИЙ НПЗ»

АО «НОВОКУЙБЫШЕВСКАЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ»

ООО «НОВОКУЙБЫШЕВСКИЙ ЗАВОД МАСЕЛ И ПРИСАДОК»

АО «САМАРАНЕФТЕПРОДУКТ»

ФИЛИАЛ ООО «РН-АЗРО» в г. САМАРА

АО «ОТРАДНЕНСКИЙ НПЗ»

АО «НЕФТЕГОРСКИЙ НПЗ»

ООО «САМАРАНИПНЕФТЬ»

ТПП «РИТЭК-САМАРА-НАФТА»

[ПАО «ЛУКОЙЛ»]

АО «ТРАНСНЕФТЬ-ПРИВОЛГА»

АО «ГИПРОВСТОКНЕФТЬ»

ПАО «ТОЛЬЯТТИАЗОТ»



ЭКСПО-ВОЛГА
организатор выставок с 1986 г.

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



ул. Мичурина, 23а
тел.: (846) 207-11-45

www.expo-volga.ru