

# Новые направления в развитии винтовых мультифазных насосов



## Д.А. Голдобин

к. т. н., руководитель группы по мультифазным насосным установкам  
dgoldobin@integra.ru

## Ю.А. Коротаев

д.т.н., главный научный сотрудник службы главного конструктора  
ykorotaev@integra.ru

## Н.Ю. Мялицин

главный конструктор  
nmyalitsin@integra.ru

## А.Ю. Субботин

руководитель проектов по мультифазным насосным установкам  
asubbotin@integra.ru

**Изложены результаты анализа факторов, влияющих на показатели энергетических характеристик и срок службы мультифазных винтовых насосов. Дано описание новой конструкции резинометаллического статора, армированного металлическими вкладышами, карданного вала и устройства для защиты насосной секции с резинометаллическим статором от негативного воздействия газа при перекачивании среды с низкой долей жидкой фазы или при полном отсутствии жидкой фазы «сухой ход».**

## Материалы и методы

На основе многолетнего опыта проектирования, изготовления и эксплуатации винтовых насосов и винтовых забойных двигателей выбраны основные направления совершенствования мультифазных винтовых насосов для перекачки нефте-водо-газовых смесей.

## Ключевые слова

мультифазный винтовой насос, конструкция, технология, производительность, давление, армированный статор, карданный вал, шарнир, устройство защиты от газа

ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» является ведущей организацией в России по разработке, производству и сервису винтовых забойных двигателей, винтовых погружных и винтовых мультифазных насосов с многозаходными рабочими органами [1, 2]. Система менеджмента качества сертифицирована Американским нефтяным институтом API на соответствие стандартам ISO 9001:2008, ISO/TS 29001, API спецификации Q1.

В 2012 году ООО «ВНИИБТ Буровой инструмент» приступил к разработке и производству нового поколения мультифазных винтовых насосных установок для перекачки водно-газо-нефтяных смесей (рис. 1). Установки позволяют перекачивать всю скважинную продукцию (нефть, вода, попутный газ) напрямую на УППН, минуя ДНС, и с высокой эффективностью производить закачку водных и водно-газовых смесей в систему поддержания пластового давления в системах адресной закачки в нагнетательные скважины. Отличительной особенностью новых мультифазных винтовых насосов является увеличенная производительность и долговечность.

Технические характеристики новых винтовых мультифазных насосов и характеристики винтовых мультифазных насосов, производимых зарубежными и

российскими конкурентами, приведены в таб. 1.

С 2013 года новые установки начали поставляться в различные регионы, в том числе в страны СНГ — Казахстан и Узбекистан (рис. 2).

В сентябре 2015 года мультифазные насосные установки У1НВ1-268.3.035.4000 введены в эксплуатацию в Республике Татарстан для перекачки высоковязкой нефти (рис. 3). Особенностью эксплуатации данных установок является то, что температура перекачиваемой среды составляет 100...120 °С.

Показатели энергетических характеристик мультифазного насоса зависят от выбора геометрических параметров винтовой насосной секции, включающей статор и ротор. Для увеличения рабочего объема и производительности винтовых насосных секций в новых мультифазных насосах увеличены диаметральные размеры статора и ротора, межосевое расстояние и высота зубьев. Кинематическое отношение винтовой насосной секции принято равным 3/4 или 4/5. За счет увеличения рабочего объема снижена частота вращения ротора, что позволило уменьшить негативное влияние от действия центробежных сил, возникающих при планетарном движении ротора, и повысить долговечность насосной секции.

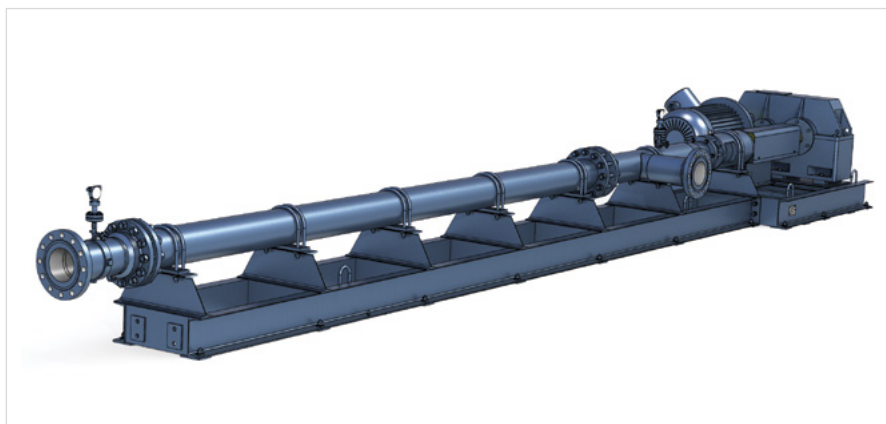


Рис. 1 — Общий вид винтовой мультифазной установки

Производитель, страна	Марка насоса	Производительность, м <sup>3</sup> /час	Давление, атм	Потребляемая мощность, кВт
NETZSH, Германия	NM 125	10–120	1-48	12-180
	NM 148	20–250	1-36	15-150
Перминжиниринг Групп, Россия	ВН1.75/32	75	32	110
ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент», Россия	У1НВ1-240. 4.04.1500	10–60	40	110
	У1НВ1-240. 3.03.1600	20–75	30	132
	У1НВ1-240. 3.04.1500	25–85	40	160
	У1НВ1-268. 3.025.2700	30–150	25	200
	У1НВ1-268.3.025.4500	40–190	25	250
	У1НВ1-268.3.035.4000	30–170	35	315
	У1НВ1-268.3.02.6000	50–250	20	315

Таб. 1 — Характеристики винтовых мультифазных насосов

Требуемое давление на выходе из насоса достигается за счет увеличения длины зубчатых поверхностей статора и ротора (до 6000 мм). Здесь следует отметить, что изготовление новых винтовых насосных секций стало возможным благодаря проведению в ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» техническому перевооружению производственных мощностей и освоению технологии зубообработки роторов и сердечников пресс-форм статоров с высотой зубьев 15–30 мм и длиной зубчатых поверхностей до 7000 мм на станках с ЧПУ фирмы «Weingartner» (Австрия) и технологии заливки статоров резиновой смесью на литейной машине «Desma» (Германия).

Выбор эластомера для обкладки статоров является одним из наиболее важных вопросов при разработке винтовых мультифазных насосов. В последние годы для заливки статоров винтовых мультифазных насосов используется резина фирмы «Крайбург» (Германия). Использование импортной резины позволило значительно повысить срок службы резинометаллических статоров и насосных секций. ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» также занимается исследованием и разработкой новых эластомеров.

Для этих целей создана специальная лаборатория, оснащенная самым современным оборудованием от мировых лидеров: Prescott, Vrabender, Hegewald&Peschke. В лаборатории проводится входной контроль резиновых смесей, клеев и других материалов, изучаются динамические свойства резины, проводятся испытания резины и образцов

статоров в условиях, имитирующих условия эксплуатации. С целью повышения долговечности и надежности статоров насосных секций, в лаборатории подбираются резиновые смеси для специфических условий эксплуатации и производится разработка новых рецептов резиновых смесей.

Резиновая обкладка стандартного статора работает при больших контактных и гидростатических давлениях, а также большой частоте нагружения. Из-за больших перепадов давлений резиновые зубья статора претерпевают циклические деформации, в результате чего происходит внутренний разогрев резины. Разогрев резины ухудшает её физико-механические и упруго-эластичные свойства, приводит к снижению прочности и долговечности. Перегрев резинового зуба статора может привести к термическому разрушению эластомера и снижению срока службы статора.

При работе мультифазного насоса крутящий момент от ротора передается на статор. Резиновые зубья статора изгибаются, что приводит к утечкам перекачиваемой жидкости и снижению производительности насоса и развиваемого давления.

Повысить производительность и давление, развиваемое винтовым мультифазным насосом, можно за счет армирования резиновых зубьев статора, которое заключается в изготовлении корпуса статора с внутренними металлическими зубьями с последующим их обрезиниванием. Армирование позволяет увеличить изгибную жесткость резиновых зубьев статора, а также повысить его

долговечность за счет лучшего теплоотвода и увеличения усталостной выносливости зубьев.

При увеличенной жесткости винтовой зуб статора имеет значительно меньший изгиб, уменьшаются утечки рабочей жидкости из камер высокого давления в камеры низкого давления. За счет этого снижаются объемные потери, увеличивается производительность мультифазного насоса и допустимый межвитковый перепад давления.

Существуют различные способы изготовления корпуса статора с внутренними винтовыми зубьями:

- электрохимическое выжигание внутренней поверхности металлической заготовки или ковка трубной металлической заготовки на винтовом сердечнике;
- литье металла в полость между корпусом и винтовым сердечником;
- установка в цилиндрический корпус набора металлических пластин, сегментов с вырезанным профилем, литых или кованных вкладышей с внутренней винтовой поверхностью.

Изготовление корпуса статора с внутренними винтовыми зубьями с использованием литых металлических вкладышей, на наш взгляд является наиболее предпочтительным способом армирования статора мультифазного насоса с точки зрения упрощения технологии изготовления и снижения себестоимости изготовления армированного статора.

С целью повышения производительности и развиваемого давления выпускаемых



Рис. 2 — Мультифазные винтовые насосные установки У1НВ1-240.3.04.1500 в Казахстане



Рис. 3 — Мультифазные винтовые насосные установки У1НВ1-268.3.035.4000 в Республике Татарстан на пуско-наладочных работах



Рис. 4 — Заливка статора резиновой смесью на литейной машине «Desma»

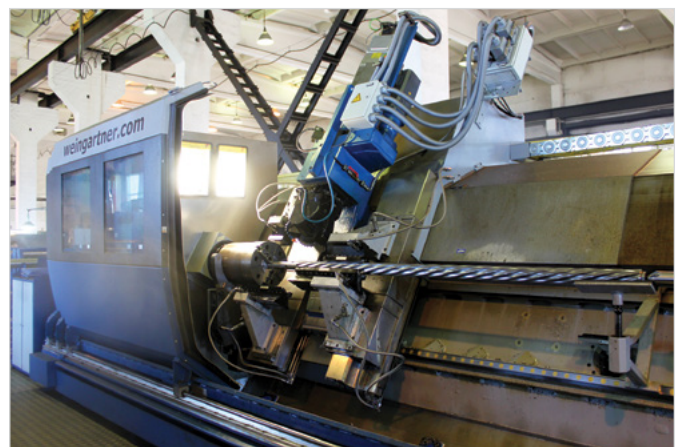


Рис. 5 — Нарезание зубьев роторов на станке с ЧПУ фирмы «Weingartner»



винтовых мультифазных насосов ООО «ВНИИБТ Буровой инструмент» начал опытные работы по разработке, изготовлению и испытаниям винтовой насосной секции мультифазного насоса в габарите 240 мм со статором, армированным литыми металлическими вкладышами. Основные геометрические параметры армированного статора: диаметр по впадинам зубьев — 178 мм, высота зубьев — 28 мм, осевой шаг зубьев — 185 мм, толщина резиновой обкладки во впадинах зубьев — 6 мм, на вершинах зубьев — 12 мм. Для армирования статора были отлиты и обработаны 9 вкладышей с наружным диаметром 200 мм и длиной от 490 до 630 мм. Общая длина всех 9 вкладышей, установленных последовательно друг за другом и приклеенных к внутренней поверхности остова статора, составляет 4984 мм. Фотография трех литых вкладышей приведена на рис. 6.

В настоящее время завершается изготовление армированного статора и ротора винтовой насосной секции мультифазного

насоса, после чего будут проведены стендовые и промысловые испытания.

Увеличение межосевого расстояния и высоты зубьев новых винтовых мультифазных насосов повышенной производительности привело к необходимости разработки новых конструкций карданных валов для передачи крутящего момента от вала шпинделя к планетарно вращающемуся ротору. Ранее для передачи крутящего момента от ротора к шпинделю использовались торсионные валы. Практика показала, что использование торсионных валов в винтовых мультифазных насосах с большим межосевым расстоянием статора и ротора приводит к значительному снижению долговечности торцевого уплотнения шпинделя, а также увеличению длины и себестоимости изготовления мультифазной установки.

Разработана новая конструкция карданного вала винтового мультифазного насоса [3], который содержит два маслonaполненных шарнира, соединенных между собой валом и конусными соединениями,

а также манжету из резины, закрепленную на шарнирах при помощи хомутов. Каждый шарнир карданного вала содержит обойму с глухим осевым отверстием, подпятник со сферическим дном и вал с упорной сферической поверхностью, взаимодействующей со сферическим дном подпятника. В обойме каждого шарнира выполнены две внутренние продольные канавки в виде шпоночного паза. Крутящий момент от вала к обойме передается при помощи двух пальцев. Один конец пальцев выполнен цилиндрическим с возможностью поворота вокруг своей оси. Другой конец пальцев выполнен в виде шпонки и имеет плоские стороны скольжения, которые контактируют с плоскостями скольжения боковых стенок продольных канавок обоймы. Новая конструкция карданного вала используется в винтовых мультифазных насосах с мощностью привода до 160 кВт. В насосах с мощностью привода более 160 кВт используются маслonaполненные карданные валы с шарниром Гука. Использование карданных валов позволило улучшить работу торцевых уплотнений и радиальных подшипников шпинделя, увеличить передаваемый крутящий момент и повысить срок службы мультифазных насосов.

Длительная работа установки при перекачивании среды с низкой долей жидкой фазы или при полном отсутствии жидкой фазы «сухой ход» является недопустимым. При таком режиме работы смазка, образованная жидкой фазой перекачиваемой рабочей среды, выносится из зоны трения зубьев статора и ротора, что ведет к разогреву и разрушению резиновой обкладки статора. Поэтому, если установка перекачивает газодонефтяные смеси с содержанием газовой фазы более 80% и кратковременно работает при полном отсутствии жидкой фазы, необходимо использовать устройства защиты от газа. В ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» разработано два варианта устройства защиты установки от негативного воздействия высокой доли газовой фазы [4, 5]. Схема одного из вариантов защиты показана на рис. 7.

Устройство защиты содержит резервуар 8 с резервным объемом жидкой фазы рабочей среды 9. Резервуар 8 содержит входную линию 10 и выходную линию 11 для подвода и отвода рабочей среды. Выходная линия 11 со встроенным в нее датчиком жидкой фазы 12 связана с всасывающей полостью 2 насоса 1 и располагается на таком расстоянии от нижней части 13 резервуара 8, чтобы объем резервной жидкости 9 составлял не менее 2/3 всего объема резервуара.

Резервный объем жидкости должен быть таким, чтобы обеспечивалась непрерывная циркуляция дополнительно подаваемого потока жидкости. От нижней части 13 резервуара 8 отходит перепускная линия 14, в которую встроены насос малой производительности 18 и клапан 16. Блок управления 7 связан с датчиком жидкой фазы 12, приводом 6 и клапаном 16.

Рабочая среда 9 по трубопроводу 10 поступает в резервуар 8, где за счет сил гравитации, а также изменения скорости и направления движения происходит ее разделение на жидкую и газовую фазы. В результате в нижней части 13 резервуара 8 собирается резервный объем жидкой фазы рабочей среды 9.



Рис. 6 — Литые вкладыши для армирования статора

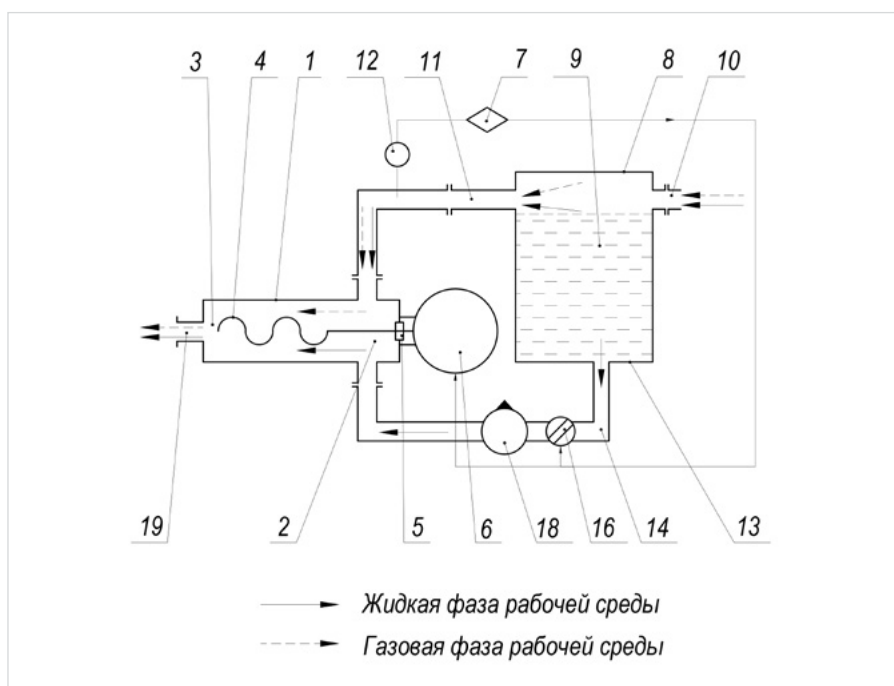


Рис. 7 — Схема защиты установки от негативного воздействия высокой доли газовой фазы

При достижении требуемого резервного объема жидкой фазы 2 излишки жидкой и газовой фазы поступают в выходную линию 11, в которой установлен датчик жидкой фазы 12 и далее поступают во всасывающую полость 2 насоса 1, где рабочие органы 4 перемещают рабочую среду в нагнетательную полость 3 и затем выводят ее из насоса 1 через трубопровод 19.

При наступлении и во время продолжения режима работы мультифазного насоса с низкой долей жидкой фазы или «сухого хода» соответствующий сигнал от датчика жидкой фазы 12 поступает в блок управления 7. Блок управления 7 подает сигнал на открытие клапана 16 и дает команду на включение насоса малой производительности 18 и на снижение числа оборотов привода 6 насоса 1.

В результате, при открытии клапана 16, жидкая фаза по перепускной линии 14, подсоединенной к нижней части 13 резервуара 8, при помощи насоса малой производительности 18 поступает во всасывающую полость 2. Затем, перемещаясь с помощью рабочих органов 4 насоса 1, жидкая фаза поступает в напорную полость 3, обеспечивая смазку рабочих органов 4, уплотнения 5 вала шпинделя, и по трубопроводу 19 выводится из насоса 1. Объем дополнительно подаваемой

жидкости регулируется насосом малой производительности 18.

Разработка нового поколения мультифазных насосных установок повышенной производительности привела к необходимости модернизации стандового комплекса. В настоящее время ООО «ВНИИБТ Буровой инструмент» наряду с созданием новых конструкций мультифазных винтовых насосов и технологии их изготовления проводит работы по разработке и изготовлению нового стенда для испытаний мультифазных насосов производительностью до 400 м<sup>3</sup>/час. Ввод стенда в эксплуатацию планируется в 2016 году.

#### Итоги

Разработаны новые конструкции резино-металлического статора, карданного вала и схема защиты мультифазного винтового насоса от негативного воздействия газа.

#### Выводы

Использование армированных статоров и новой конструкции карданного вала позволяет повысить энергетические характеристики мультифазных насосов. Использование устройства защиты от газа позволяет обеспечить длительную безаварийную работу

мультифазного винтового насоса при перекачивании среды с низкой долей жидкой фазы или при полном отсутствии жидкой фазы «сухой ход».

#### Список используемой литературы

1. Коротаев Ю.А., Чудаков Г.Ф., Николаев В.Ю. Винтовые насосные секции и насосные установки Пермского филиала ВНИИБТ // Строительство нефтяных скважин на суше и на море. 2003. № 9. С. 17–19.
2. Коротаев Ю.А., Голдобин Д.А., Мяслицин Н.Ю., Субботин А.Ю. Мультифазные насосные установки повышенной производительности для перекачки нефтегазовых смесей // Нефть&Газ Евразия. 2014. № 6. С. 54–55.
3. Патент на полезную модель № 88724 Карданный вал винтовой героторной гидромашины. Заявл. 18.11.2014. Опубл. 30.04.2015. МПК7 E21B4/02.
4. Патент на полезную модель №145326 Установка для перекачки мультифазных жидкостей с большим содержанием газа. Опубл. 20.09.2014. F04B47/00.
5. Патент РФ на изобретение № 2539214 Устройство защиты мультифазного насоса. Опубл. 20.01.2015 МПК F04C 2/16.

ENGLISH

PUMPS

## New trends in multiphase pumping systems development

UDC 621.65/621.69

#### Authors:

**Dmitriy A. Goldobin** — Ph. D., Chief of the pumping systems department; [dgoldobin@integra.ru](mailto:dgoldobin@integra.ru)  
**Yuriy A. Korotaev** — Sc. D., Chief Researcher; [ykorotaev@integra.ru](mailto:ykorotaev@integra.ru)  
**Nikolay Yu. Myalitsin** — Chief Designer; [nmyalitsin@integra.ru](mailto:nmyalitsin@integra.ru)  
**Anatoliy Yu. Subbotin** — Chief of the pumping systems projects; [asubbotin@integra.ru](mailto:asubbotin@integra.ru)

VNIIBT-Drilling Tools Ltd, Perm, Russian Federation

#### Abstract

Article presents factors analysis results, influencing power characteristics and service life of the pumping system. The description of the new design rubber-metal stator, reinforced by metal inserts, drive shaft and pump unit protecting device against adverse gas impact during liquid phase low fraction medium pumping or at absolute liquid phase absence (“dry running”) pumping are also presented.

#### Materials and methods

Mainstream for improving oil, water and gas

pumping systems was chosen on the basis of long experience of design, production and operation of pumping systems and downhole motors.

#### Results

New design of rubber-metal stator, drive shaft and pumping systems protection against gas adverse impact were developed.

#### Conclusions

Application of new design reinforced stators and drive shaft allows to increase power

characteristics of pumps. Gas protecting device application provides long term accident-free operation of pumping systems during liquid phase low fraction medium pumping or at absolute liquid phase absence “dry running”.

#### Keywords

pumping system, design, technology, capacity, pressure, reinforced stator, drive shaft, rotary joint, gas protector

#### References

1. Korotaev Yu.A., Chudakov G.F., Nikolaev V.Yu. *Vintovye насосные секции i насосные установки Пермского филиала ВНИИБТ* [Screw pumps sections and pump units of Perm branch of NIIBT]. *Stroitel'stvo neftyanykh skvazhin na sushe i na more*, 2003, issue 9, pp. 17–19.
2. Korotaev Yu.A., Goldobin D.A., Myalitsin N.Yu., Subbotin A.Yu. *Mul'tifaznye насосные установки повышенной производительности для перекачки нефтегазовых смесей* [Increased capacity pumping systems for oil and gas mixture pumping]. *Oil&Gas Eurasia*, 2014, issue 6, pp. 54–55.
3. Useful model patent № 88724 *Kardannyi val vintovoy gerotorной gidromashiny* [Drive shaft of gerotor type hydraulic machine]. Declared 18.11.2014. Published 30.04.2015. МПК7 E21B4/02.
4. Useful model patent №145326 *Ustanovka dlya perekachki mul'tifaznykh zhidkostey s bol'shim soderzhaniem gaza* [Unit for multiphase liquid with high gas content pumping]. Published 20.09.2014. F04B47/00.
5. Russian Federation patent for invention *Ustroystvo zashchity mul'tifaznogo nasosa* [Protection device for pumping system]. Published 20.01.2015 МПК F04C 2/16.