

ПРОДОЛЖАЯ РАЗГОВОР ОБ ОТКРЫТЫХ СТУПЕНЯХ



АГЕЕВ Шарифжан Рахимович
Заместитель генерального директора по науке ОКБ БН «КОННАС», лауреат Премии правительства РФ

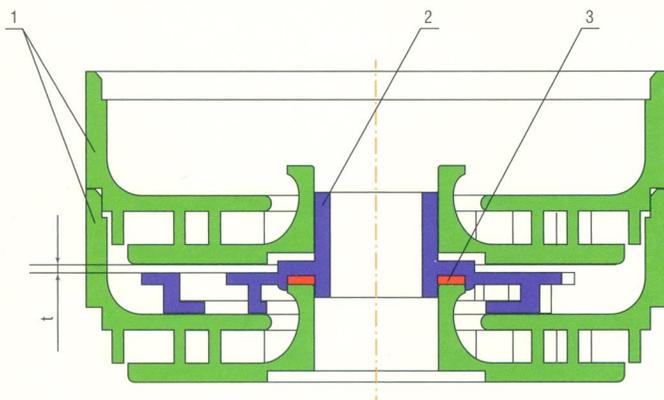


САВЕЛЬЕВ Константин Владимирович
Начальник бюро оптимизации ступеней ДИР АО «Новомет-Пермь»

Еще в 60-е годы прошлого столетия была поставлена задача увеличить напорность ступеней центробежных насосов. Наряду с этим необходимо было разработать и конструкцию ступеней, которая отличалась бы большей долговечностью и меньшей засоряемостью. Специалистам ОКБ БН «КОННАС» удалось решить эту задачу благодаря разработке ступени с рабочими колесами (РК) открытого типа, однако в тот исторический период производство установок на базе таких ступеней так и не было налажено. В прошедшие годы интерес к РК открытого типа значительно вырос в связи с ростом влияния осложняющих механизированную добычу нефти факторов: высокого содержания свободного газа, мехпримесей и отложения солей. В этой связи специалисты АО «Новомет-Пермь» наладили производство установок с РК открытого типа, провели успешные лабораторные и промышленные испытания и в 2013-2014 годах существенно модернизировали исходную конструкцию и оптимизировали производство ступеней. Результатом стали успешно эксплуатируемые в осложненных условиях электроцентробежные установки с высоким КПД, большим ресурсом и оптимизированной напорно-расходной характеристикой (НРХ). В ближайших планах расширение линейки установок с РК открытого типа для габаритов 5, 5А и сверхмалых габаритов.

Конструкторские и исследовательские работы, проведенные специалистами ОКБ БН «КОННАС», привели к созданию ступени с рабочими колесами открытого типа (рис. 1). Ими же были проведены первые испытания ступеней производительностью 700, 250, 160, 40 и 20 м³/сут, в которых применялись специально изготовленные из листовой стали рабочие колеса открытого типа. В этих ступенях открытые плавающие рабочие колеса торцами своих лопастей опирались на опорные поверхности направляющих аппаратов.

Рис. 1. Ступень с рабочим колесом открытого типа: 1 – направляющий аппарат; 2 – рабочее колесо; 3 – опорная шайба



Испытания ряда ступеней с рабочими колесами открытого типа с подачами 20-700 м³/сут показали, что их характеристики практически не отличаются от характеристик таких же насосов с обычными рабочими колесами, а КПД не только не снизились, но даже повысились (рис. 2). При этом следует отметить, что высота ступени была уменьшена, следовательно, увеличилась напорность. Хорошие результаты были получены также на ступени с рабочим колесом открытого типа для насоса с подачей 300 м³/сут, выполненной на базе серийной с подачей 250 м³/сут. Здесь при одинаковых подачах ступень с открытым колесом дала существенное (8-10%) повышение напора практически без снижения КПД.

Для подтверждения результатов лабораторных испытаний отдельных ступеней и проверки работоспособности в промышленных условиях были изготовлены и испытаны на стенде и промыслах опытные образцы насосов с рабочими колесами открытого типа с подачами 180 и 300 м³/сут при напоре 800 метров. Характерно, что насос с подачей 180 имел почти в полтора раза меньшую длину, чем насос с обычными ступенями на 160 м³/сут и тот же напор.

После получения положительных результатов предварительных испытаний опыты с рабочими колесами открытого типа были расширены. В частности, было исследовано влияние увеличения зазора между рабочим колесом и направляющим аппаратом на характеристику ступени.

При работе трущиеся поверхности рабочего колеса и направляющего аппарата изнашиваются, и осевой зазор t между ними увеличивается. В результате испытаний различных ступеней установлено, что с увеличением зазора подача, напор и КПД ступени снижаются [1, 4].

Тем не менее опыты показывают, что отсутствие дисков у рабочего колеса практически не ухудшает характеристики ступени, но существенно уменьшает высоту и вес ступени, а также упрощает изготовление самого колеса.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Конструкция ступени с открытым рабочим колесом, разработанная в ОКБ БН, по сравнению с традиционным рабочим колесом имеет и некоторые другие преимущества. Так, существенно меньшая площадь дисков рабочего колеса должна снижать влияние вязкости перекачиваемой жидкости. Влияние потока жидкости в каналах рабочего колеса на жидкость, находящуюся в верхней пазухе (в верхнем зазоре) рабочего колеса, должно привести к повышению допустимого газосодержания.



МАРТЮШЕВ
Данила Николаевич
Главный конструктор ДИР
АО «Новомет-Пермь»



ОСТРОВСКИЙ Виктор Георгиевич
Начальник лаборатории надежности
и трибологии ИТЦ ДИР
АО «Новомет-Пермь», к.т.н.

Проведенные в ОКБ БН эксперименты подтвердили эти предположения. Однако в серийное производство ступени с открытыми рабочими колесами не были внедрены, что объяснялось плановой экономикой СССР – нежеланием заводов рисковать срывом планов производства серийно выпускавшихся ступеней.

В последнее время в связи с массовым применением технологий интенсификации добычи, а также широким распространением гидроразрыва пластов в составе скважинной жидкости стало существенно повышаться содержание как свободного газа, так и твердых частиц. В то же время перекачивание повышенных объемов этих компонентов обычными центробежными ступенями (особенно при малых подачах) затруднительно. Это связано с риском засорения проточных каналов механическими примесями или их закупорки скоплениями пузырьков газа. Кроме того, нельзя забывать и про еще один важный фактор, который ярко выражен на малodeбитном фонде, – засорение каналов отложением солей.

Следует отметить, что в насосах, перекачивающих взвешенные вещества (например, бумажную массу), давно применяются рабочие колеса, у которых часть заднего диска удалена [7]. Такая конструкция способствует уменьшению опасности засорения колес волокнистыми частицами.

В связи с этим специалисты компании «Новомет» в 2007 году разработали и внедрили в серийное производство ступень с рабочим колесом открытого типа ЭЦНО 5-20, конструкция которой представлена на рис. 3.

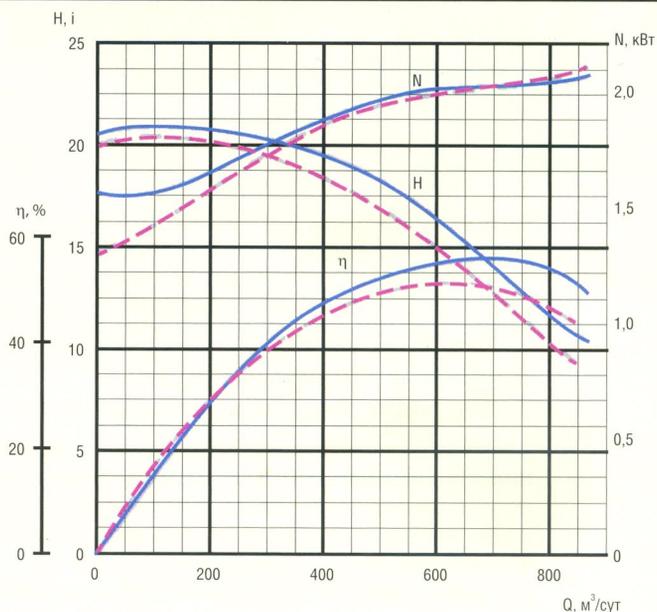
Для уменьшения вероятности засорения каналов рабочего колеса и уменьшения осевой силы, действующей на рабочее колесо, в ведущем и ведомом дисках между всеми лопастями были выполнены сквозные вырезы, открытые со стороны большого диаметра дисков (рис. 3, 4). Данные вырезы имеют одинаковую форму, но смещены по окружности относительно друг друга, в результате чего границы вырезов, совпадающих со стороны лопасти, размещаются в противоположных концах проточного канала.

Рабочее колесо имеет индивидуальную опорную пятю, состоящую из антифрикционной износостойкой шайбы, опирающуюся на подпятник в направляющем аппарате.

Наружные поверхности ведущего и ведомого дисков рабочего колеса при сборке ступени образуют зазоры с соответствующими стенками направляющего аппарата [2].

При работе поток жидкости поступает к рабочему колесу со стороны входных кромок, попадает в проточный канал и движется по нему в направлении к выходным кромкам. Благодаря наличию вырезов полости, примыкающие к наружным поверхностям ведущего и

Рис. 2. Характеристики опытных ступеней насоса на подачу 700 м³/сут с обычным рабочим колесом (пунктирные линии) и с рабочим колесом открытого типа (сплошные линии)



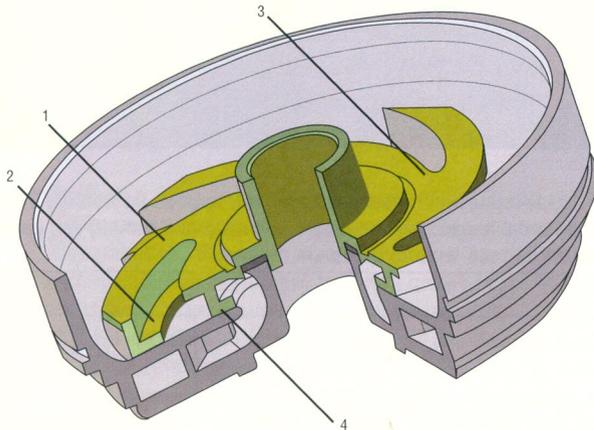
ведомого дисков, сообщаются друг с другом, в результате происходит выравнивание сил, действующих на диски, и осевое усилие рабочего колеса уменьшается. При перекачке вязких сред происходит снижение «паразитных» перетечек жидкости и уменьшение дисковых потерь вследствие снижения площади поверхности дисков и увеличения эффективной величины высоты проточных каналов рабочего колеса. Это повышает эффективность работы ступени насоса в целом.

При наличии в перекачиваемой среде свободного газа силовое взаимодействие перекачиваемой среды с неподвижными стенками направляющего аппарата способствует образованию мелкомасштабных вихрей

Рис. 3. Конструкция ступени ЭЦНО5-20



Рис. 4. Сборка ступени ЭЦНО5-20: 1 – ведущий диск рабочего колеса; 2 – ведомый диск рабочего колеса; 3 – межлопастной вырез рабочего колеса; 4 – осевой зазор



(меньших, чем ширина проточного канала), что препятствует укрупнению газовых пузырьков, диспергирует газожидкостную смесь и тем самым уменьшает вероятность срыва подачи, позволяя увеличить допустимое газосодержание [2].

РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Разработанная конструкция рабочего колеса и направляющего аппарата максимально адаптирована под технологию порошкового прессования, что позволяет минимизировать финишную механическую обработку и тем самым снизить затраты.

Первоначально была спроектирована и начала серийно выпускаться ступень для насосов базового исполнения из материала ЖГР1Д15, которая хорошо себя зарекомендовала. Однако у нефтяников все больший интерес вызывала данная ступень в коррозионно-

Рис. 5. Характеристики ступени ЭЦНО5-20

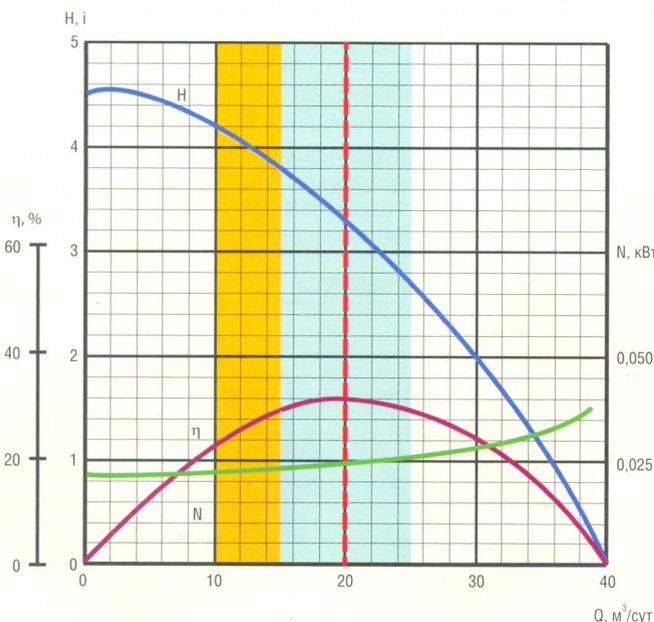


Таблица 1

Сравнение КПД насосов «Новомет»

Типоразмер ступени	КПД, %
ВНН5-15 «Новомет»	30
ВНН5-20 «Новомет»	33
ЭЦНО5-20 «Новомет»	32

стойком исполнении. В 2013-2014 годах специалисты компании провели ряд работ по модернизации технологии изготовления ступеней, что позволило оптимизировать затраты и изготавливать данную ступень из коррозионно-стойких материалов наряду с серийным производством из обычной порошковой стали.

В настоящее время «Новомет» выпускает ступень ЭЦНО5-20 из трех материалов:

- материал для насосов базового исполнения – ЖГР1Д15;
- коррозионно-стойкий материал SRN;
- нержавеющая сталь X11Н8Д20.

Напорно-расходная характеристика ступени ЭЦНО5-20 представлена на рис. 5. Ее КПД находится на уровне серийно выпускаемых ступеней компании обычной конструкции (с закрытыми рабочими колесами) ВНН 5-15, ВНН5-20 (табл. 1) [3].

Рабочий диапазон ступени составляет 15-25 м³/сут. Однако, как показывает опыт эксплуатации, ступень хорошо работает и на меньших расходах – 10-12 м³/сут. В 2014 году были успешно проведены ее стендовые испытания на надежность по специально разработанной ускоренной методике. Цель проекта состояла в расширении рабочей области в левой части до 10 м³/сут.

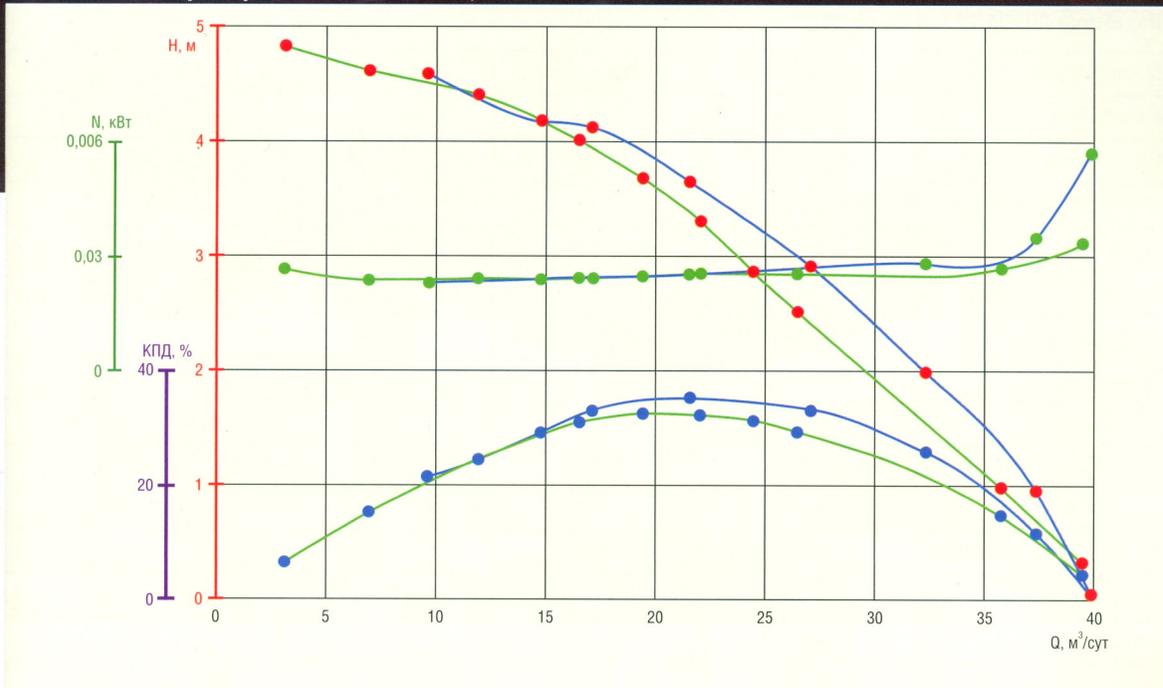
В ходе ресурсных испытаний подтвердилась высокая износостойкость насоса ЭЦНО5-20 при перекачке жидкости с механическими примесями. Насос перекачивал воду с частицами кварцевого песка концентрацией 10 г/л и размером до 1 мм в течение 8 часов, что соответствует двум годам эксплуатации в реальных условиях с КВЧ 1000 мг/л. До и после испытаний были измерены напорно-расходные и энергетические характеристики ступеней (рис. 6). Снижение напора в рабочем диапазоне подач составило 13,6%, снижение КПД при номинальной подаче – 8,1%. Для серийных ступеней в ходе таких испытаний допускается снижение напора на 25% и КПД на 20% от начального значения, поэтому насос ЭЦНО5-20 считается полностью соответствующим требованиям по износостойкости.

Более всего в ступени изнашивается нижний диск рабочего колеса. Максимальная величина износа – 0,11 мм, что не приводит к отказу всей установки, а только к снижению напора ступени, что показано на рис. 7.

ПРОМЫСЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

В 2010 году были проведены опытно-промышленные испытания пяти УЭЦНО5-20 на одном из месторождений ХМАО, разрабатываемом крупнейшей добывающей компанией региона. После составления акта успешного проведения ОПИ компания-оператор заказа-

Рис. 6. Изменение напорно-расходной характеристики ступени ЭЦН05-20 после ресурсных испытаний. Синие линии – характеристики до испытаний, зеленые – после



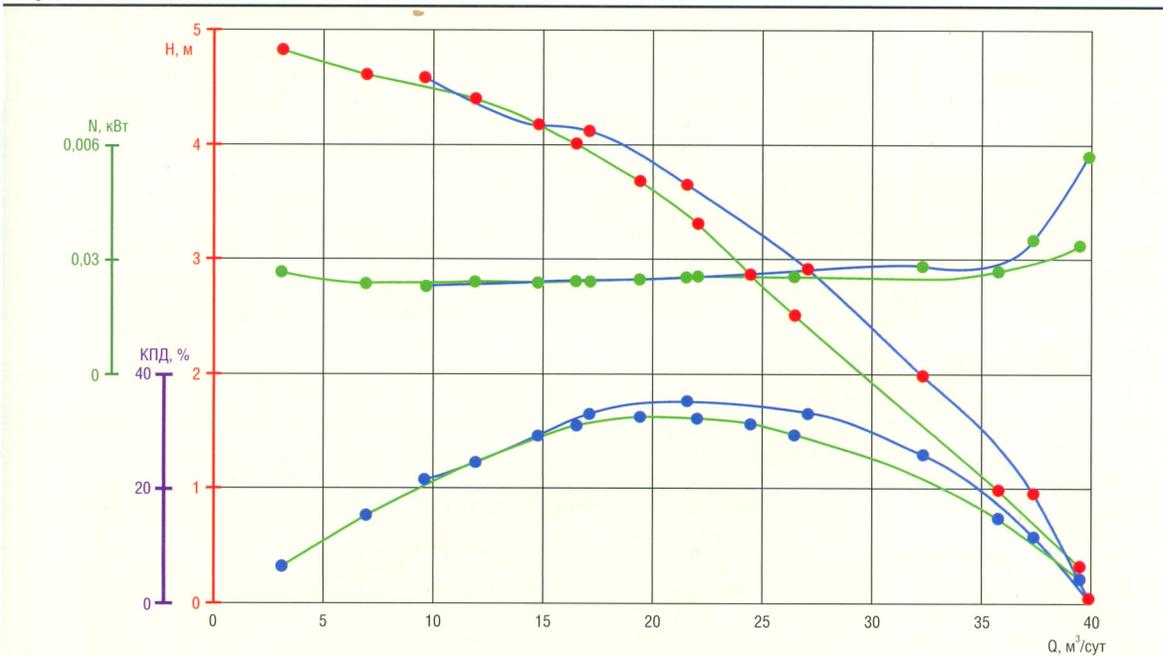
ла еще 30 установок. Данные по наработкам, запрошенные у компании «Новомет-Сервис», показывают, что диапазон подач составляет от 11 до 28 м³/сут. КВЧ достигает 700 мг/л; глубина спуска 2000 – 2500 м. Средняя наработка составляет 293 сут, максимальная – 1351 сут, минимальная – 47 сут (табл. 2).

В 2013 году еще 10 насосов ЭЦН05-20 были отправлены в ТПП «Урайнефтегаз» ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» на ОПИ. Некоторые из них до сих пор находятся в работе.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОЕКТА

На основе успешного опыта разработки ступеней с рабочими колесами открытого типа, компания «Новомет» запланировала в 2015 году расширение линейки насосов в 5 и 5А габаритах, и в частности разработку таких ступеней, как ЭЦН05-80, ЭЦН05А-25. В случае заинтересованности нефтяников мы готовы реализовать техническую возможность проектирования и освоения производства насосов подобной конструкции в габаритах 2А-5А с номинальными подачами от 15 до 200 м³/сут. ♣

Рис. 7. Износ дисков рабочего колеса: сплошная линия – толщина дисков рабочих колес после 8 ч испытаний, штриховая линия – начальная толщина дисков



Наработки ЭЦН05-20 (на 01.02.2015)				
Месторождение	Дата запуска	Дата отказа	Наработка, сут	Причина отказа
Лазаревское	08.12.13	-	485	В работе
Шушминское	04.11.13	-	519	В работе
Севере-Даниловское	11.12.13	-	482	В работе
Ловинское	27.12.13	-	466	В работе
Сыморьяхское	29.12.13	-	464	В работе
Ловинское	15.06.14	08.10.14	115	Клин
Сыморьяхское	16.12.13	01.02.14	47	Негерметичность НКТ
Сыморьяхское	27.11.13	01.02.14	66	Негерметичность НКТ
Красноленинское	20.12.13	18.05.14	149	Нет подачи
Ловинское	17.12.13	25.08.14	251	Нет подачи
Мало-Балыкское	01.08.2011	29.03.2012	241	Р-0
Фаинское	23.04.2012	18.08.2012	117	В/О
Солкинское	29.04.2012	11.03.2013	316	ППР
Восточно-Сургутское	27.04.2012	07.10.2012	163	ГТМ перевод в ППД
Мало-Балыкское	01.07.2012	19.02.2013	233	Нет подачи
Петеленское	13.07.2012	10.07.2013	362	Р-0
Мало-Балыкское	05.08.2012	12.12.2012	129	ГТМ ИДН
Фаинское	11.08.2012	16.05.2013	278	ГТМ ОПЗ
Фаинское	12.10.2012	06.10.2013	359	Р-0
Приобское	07.11.2018	06.10.2019	333	Нет подачи
Восточно-Сургутское	14.11.2012	26.05.2013	193	ГТМ ОПЗ
Мало-Балыкское	15.01.2013	25.04.2013	100	Нет подачи
Усть-Балыкское	08.02.2013	13.09.2013	217	ГТМ ППР
Усть-Балыкское	13.02.2013	06.09.2013	205	ГТМ ППР
Восточно-Сургутское	02.06.2013	07.11.2013	158	ГТМ ОПЗ
Приобское	26.06.2013	06.11.2013	133	ГТМ ОПЗ
Приразломное	27.06.2010	31.05.2011	338	ГТМ
Приразломное	30.06.2010	01.03.2011	244	Р-0
Мало-Балыкское	18.07.2011		1351	В работе
Мало-Балыкское	08.08.2011	29.03.2012	234	Р-0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов А.А. Погружные центробежные электронасосы для добычи нефти. – М.: Недра, 1968. С. 115-121.
2. Патент RU 2376500 С2. Рабочее колесо ступени погружного центробежного насоса / Агеев Ш.Р., Дружинин Е.Ю. и др.; заявл. 07.03.2008, опубл. 20.12.2009, бюл. №35.
3. Каталог продукции «Новомет» 2014 г.
4. АС СССР №106136. Рабочее колесо для многоступенчатого центробежного насоса / Богданов А.А., Ляпков П.Д., Кузнецов М.А.; заявл. 3.12.1951.
5. Нефтяные ступени с открытыми рабочими колесами // Территория Нефтегаз, 2013. №12. С. 76-79.
6. Патент РФ №133215. Ступень погружного многоступенчатого насоса с рабочими колесами открытого типа / Абахри С.Д., Пещеренко С.Н. и др.; заявл. 1104.12. опубл. 10.10.2013, бюл. №28.
7. Степанов А.И. Центробежные и осевые насосы. – М.: Машгиз, 1960.