

УДК 622.23.05

Васильев Владимир Владимирович, аспирант  
(ФГАОУ ВПО «СФУ», г. Красноярск)  
Vasilev Vladimir Vladimirovich, Postgraduate student  
(FGAOU VPO "SFU", Krasnoyarsk)

Зеньков Игорь Владимирович, проф., д.т.н.  
(СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН, г. Красноярск)  
Zenkov Igor Vladimirovich, prof., doctor of engineering sciences.  
(SKTB "Nauka" KNC SO RAN, Krasnoyarsk)

## **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА ХРАНЕНИЯ ДЛИННОМЕРНОЙ ТРУБЫ НА КОЛТЮБИНГОВЫХ УСТАНОВКАХ**

### **DESIGN FEATURES OF STORAGE REEL OF LENGTHY PIPE IN COILED TUBING UNITS**

#### Аннотация

В статье рассмотрены возможные пути дальнейшего развития производства российского колтюбингового оборудования. Проведен технический анализ одного из наиболее характерных узлов колтюбинговой установки - узла намотки безмуфтовых длинномерных труб.

#### Annotation

Possible ways of further development in Russian coiled tubing equipment production are described in the article. Technical analysis of one of the most common coil tubing facilities, i.e. flush-joint long-length units is done.

Колтюбинговое оборудование стоит в одном ряду с наиболее перспективными и постоянно развивающимися направлениями в газовой и нефтяной отраслях. В настоящее время, российский производственный рынок, находясь в процессе внедрения колтюбинговых технологий для разработки месторождений полезных ископаемых, столкнулся с ситуацией, когда подавляющее большинство эксплуатируемого оборудования принадлежит зарубежным образцам.

Ведущим поставщиком колтюбингового оборудования на территории Российской Федерации являются группа компаний «ФИД», американские NOV Hydra Rig и Stewart&Stevenson, китайская компания Jereh Group. Среди отечественных производителей стоит отдельно выделить воронежское ООО «РГМ-Нефть-Газ-Сервис».

Одним из возможных путей дальнейшего развития производства и повышения конкурентной способности российского колтюбингового

оборудования, является создание ряда установок, предназначенных для эксплуатации в условиях предельно низких отрицательных температур.

Сопоставив проблемы, возникающие в условиях Крайнего Севера, и преимущества колтюбинговых технологий, по сравнению с традиционными методами подземного ремонта и эксплуатации нефтяных и газовых скважин, можно сделать выводы о целесообразности применения данного рода специализированного оборудования [1].

Отдельно стоит отметить, что на сегодняшний день не существует единой научно-технической базы, которая смогла бы обеспечить высокий уровень надежности работы такого оборудования в условиях Крайнего Севера. Как следствие, возникает необходимость в разработке основ конструирования машин такого типа. В этом случае, в качестве теоретической базы может выступить разрабатываемая нами методика, позволяющая существенно повысить надежность конструкции колтюбинговых установок на протяжении всего жизненного цикла путем критического анализа конструкции, установления требований по надежности, их достижения и итоговой оценки качества разработанного оборудования [1].

Начальный этап данной методики направлен на анализ конструкции и принципа действия современных установок с использованием безмуфтовых длиномерных труб (БДТ) и заключается в определении общности, составлении принципиальной конструктивной схемы колтюбинговой установки, детальном изучении узлов и агрегатов установки, заключении их в группы по общему признаку, что позволит упростить задачу по определению надежности установки в целом.

Ниже будет проведен анализ конструктивных особенностей одного из наиболее характерных узлов колтюбинговой установки – узла хранения безмуфтовой длиномерной трубы на примере СЗАО «ФИДМАШ», лидера рынка, и ООО «РГМ-Нефть-Газ-Сервис», на наш взгляд наиболее перспективной из отечественных компаний.

По итогам детализации конструкции узлов намотки безмуфтовых длиномерных труб вышеуказанных фирм-изготовителей, представленных на рисунке 1, была составлена принципиальная пространственная кинематическая схема данного узла колтюбинговой установки (рисунок 2), а также выделены обобщенно-конструктивные элементы, к которым относятся:

- барабан 1, установленный в подшипниковых опорах и на раме 2;
- механизм укладки безмуфтовой длиномерной трубы 3, закрепленный к верхним кронштейнам рамы 2, с возможностью продольного перемещения при помощи гидроцилиндров и фиксации в заданном положении. Данный механизм можно рассматривать как три отдельно взятых: механизм подъема укладчика; механизма продольного (горизонтального) перемещения каретки укладчика; механизм поперечного (вертикального) перемещения каретки укладчика;
- привод барабана 4;
- внутренний и наружный манифольды (не указаны).

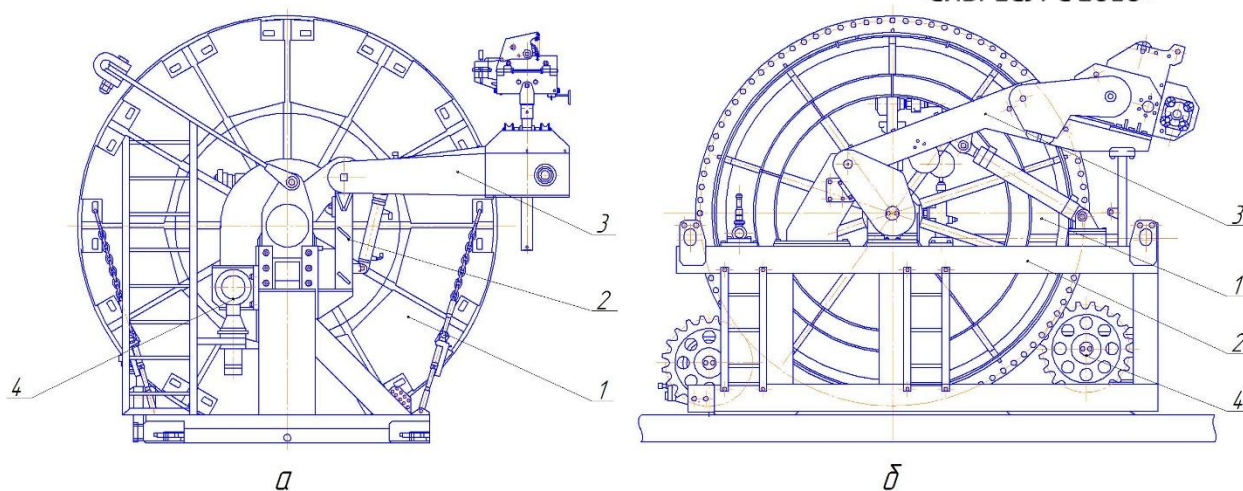


Рисунок 1 – Общий вид узла намотки безмуфтовых длинномерных труб  
а – барабан намотки БДТ СЗАО «ФИДМАШ»; б – барабан намотки БДТ  
ООО «РГМ-Нефть-Газ-Сервис»; 1 – барабан; 2 – рама; 3 – укладчик БДТ; 4 -  
привод барабана [3, 4]

Узел намотки БДТ содержит барабан, представляющий собой катушку с ребордами, имеющую ось 1 (рисунок 2), закрепленную на опорах  $O_1O_2$ , с возможностью вращения в одной плоскости, посредством привода. Также узел намотки включает в себя механизм укладки безмуфтовой длинномерной трубы, который можно рассматривать как два отдельных механизма: механизм подъема укладчика и непосредственно механизм укладки БДТ. В свою очередь, механизм укладки БДТ состоит из двух плоских механизмов, а именно: механизма продольного перемещения каретки укладчика и механизма поперечного перемещения каретки укладчика.

Механизм подъема укладчика включает в себя две конструкции, симметрично расположенные относительно продольной оси барабана, каждая из которых включает, соответственно, опоры  $O_3$  и  $O_4$  к которым крепятся звенья 3. Звенья 3 соединяются при помощи шарниров со штоками гидроцилиндров 2, закрепленных на опорах  $O_5O_6$  и образуют частный случай кулисного механизма – гидрорычажный механизм, где кулису с камнем заменяет гидроцилиндры 2 со штоками. Звенья 3 на противоположном конце зафиксированы с механизмом укладки безмуфтовой длинномерной трубы. За счет создания давления рабочей жидкости в поршневой области гидроцилиндров 2 происходит поступательное движение штоков, которое, посредством шарнирного соединения преобразуется во вращательное движение звеньев 3 и жестко связанного с ним механизма укладки БДТ относительно опор  $O_3O_4$ , на угол  $\alpha$ , равный углу рабочего положения укладчика.

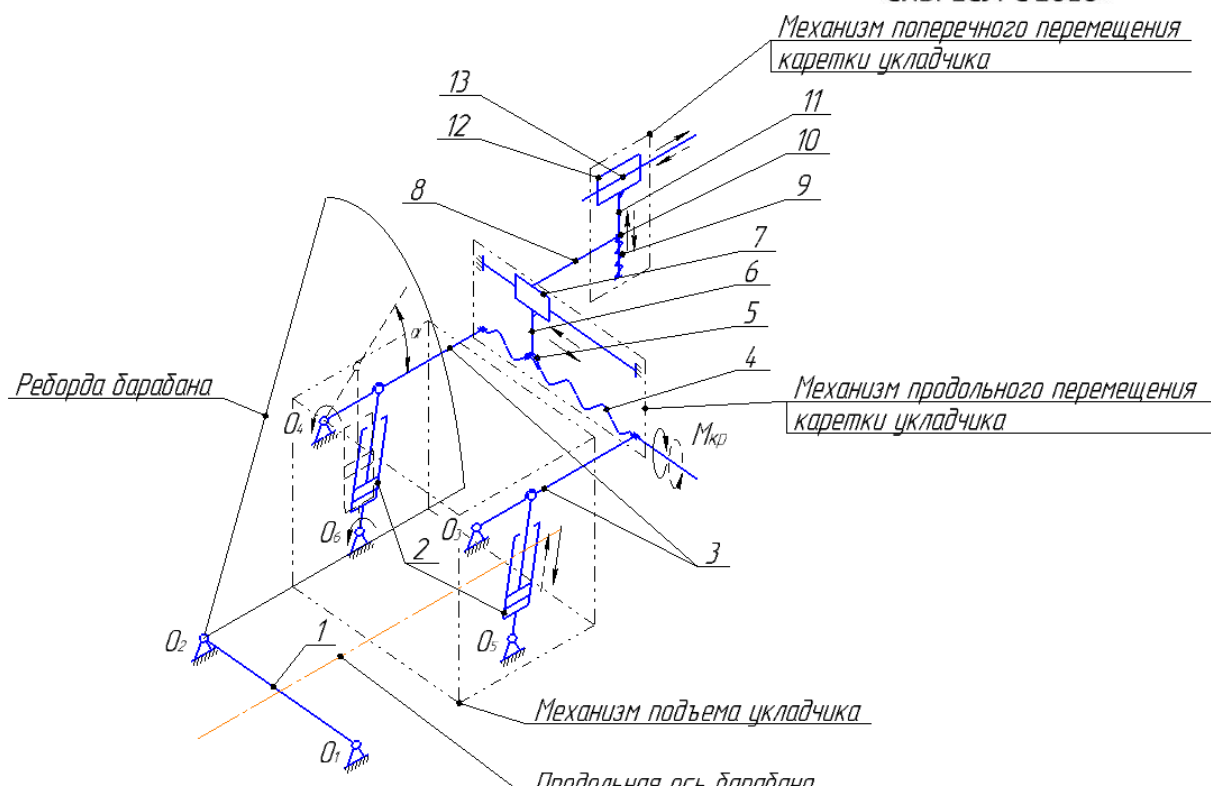


Рисунок 2 – Кинематическая пространственная схема механизма укладки безмуфтовой длинномерной трубы

Механизм продольного перемещения каретки укладчика содержит кинематическое соединение типа «винт – гайка - ползун» и состоит из винтового вала 4 и гайки 5, образующих винтовую передачу. Гайка 5 жестко соединена с ползуном 7 при помощи звена 6. Далее ползун 7 соединен с механизмом поперечного перемещения укладчика посредством звена 8. При передаче крутящего момента на вал 4 происходит его вращение, при этом жесткое соединение ползуна 7 с гайкой 5 не позволяет ей прокручиваться относительно оси вала, тем самым преобразуя вращательное движение вала 4 в прямолинейное движение гайки 5 и прикрепленного к ней ползуна 7, обеспечивая тем самым возможность продольного перемещения укладчика.

Механизм поперечного перемещения каретки укладчика выполнен в виде саморегулирующегося механизма, состоящего, как правило, из пружины 9, верхней конец которой прикреплен к втулке 10, а нижний к звену 11, оно жестко связано с ползуном 12, через который проходит звено 13. Высота подъема регулируется самостоятельно в процессе наматывания/разматывания безмуфтовой длинномерной трубы, а пружина позволяет механизму вернуться в исходное положение.

Каретка укладчика в большинстве случаев имеет две пары горизонтально расположенных роликов, обеспечивающих равномерное перемещение БДТ. Условно ее можно рассматривать как жестко

закрепленный ползун 12, через который совершает возвратно-поступательно движение звено 13 – безмуфтовая длинномерная труба.

Характерной особенностью узла намотки БДТ группы компаний «ФИД» является наличие цепного привода, посредством которого осуществляется вращение барабана, а также наличие механизма синхронизации вращения барабана с продольным перемещением укладчика БДТ (рисунок 1а).

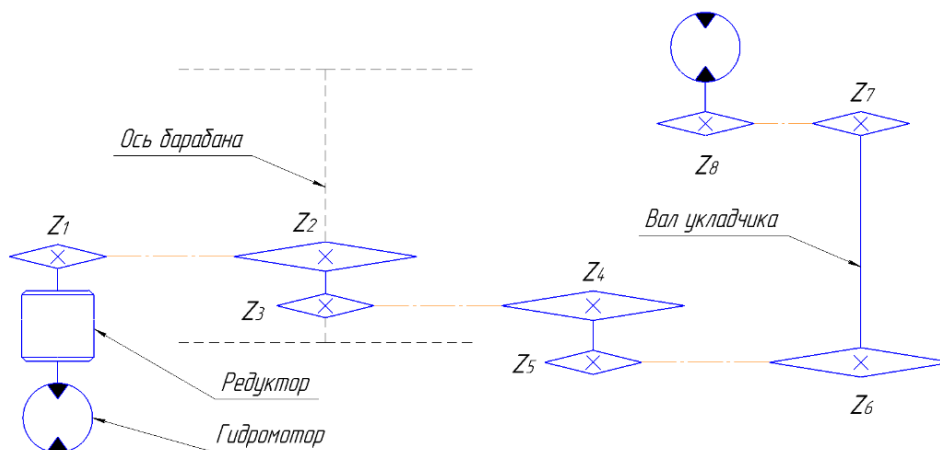


Рисунок 3 – Схема цепных передач узла намотки безмуфтовой длинномерной трубы СЗАО «ФИДМАШ»

Механизм синхронизации вращения барабана с механизмом продольного перемещения укладчика включает в себя две взаимосвязанные цепные передачи  $Z_3$ – $Z_4$ ,  $Z_5$ – $Z_6$  (рисунок 3). Для корректной работы механизма является необходимым выполнение условия, согласно которому полный оборот барабана должен соответствовать перемещению каретки укладчика на величину  $t$ , равную диаметру безмуфтовой длинномерной трубы  $d_{тр}$ . Цепная передача  $Z_8$ – $Z_7$  предназначена для ручного регулирования перемещения каретки укладчика, что обусловлено различными факторами, например неизбежным смещением наружных витков при транспортировании агрегата со скважины на скважину, отклонением наружного диаметра от номинального из-за смятия трубы, погрешности ее изготовления и т.д. [2].

Подобное устройство узла БДТ обладает рядом недостатков, среди которых основными являются недостаточная плавность работы цепного привода, приводящая к снижению надежности работы тормозных систем, а также отсутствие возможности поворота барабана.

Характерной чертой узла намотки «РГМ-Нефть-Газ-Сервис» является использование в качестве привода барабана - цевочной передачи. Цевочная передача - частный случай циклоидальной передачи, при котором вращательное движение между параллельными валами осуществляется при помощи зубчатого колеса (с зубьями специального профиля, очерченного по круговой циклоиде), сцепляющегося с колесом (цевочным), состоящим из

диска с закрепленными на нем по окружности цилиндрическими кулачками (цевками), играющими роль зубьев (рисунок 1б).

К достоинствам такой конструкции можно отнести:

- повышение надежности работы привода и тормоза;
- увеличение плавности регулирования скорости вращения барабана и, как следствие, снижение нагрузок на привод и тормоз.

Недостатком таких передач является очень сильная зависимость коэффициента полезного действия от класса точности изготовления деталей и от величины передаточного отношения [5].

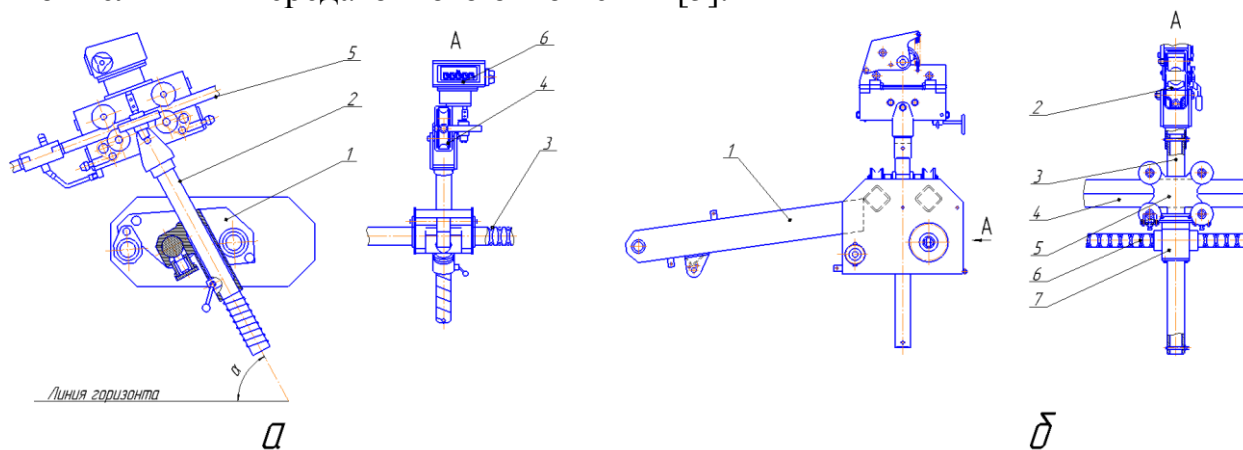


Рисунок 4 – Общий вид укладчика безмуфтовой длинномерной трубы

- а – укладчик БДТ ООО «РГМ-Нефть-Газ-Сервис»: 1 – корпус; 2 – направляющая; 3 – винтовой вал; 4 – каретка укладчика; 5 – безмуфтовая длинномерная труба; 6 – механический счетчик; б – укладчик БДТ СЗАО «ФИДМАШ»: 1 – рама; 2 – каретка укладчика; 3 – направляющая; 4 – полозья; 5 – тележка укладчика; 6 – винтовой вал; 7 – втулка [3, 6]

Анализ конструкции укладчиков двух фирм-производителей позволяет сделать вывод о том, что укладчик компании «РГМ-Нефть-Газ-Сервис» выгодно отличается от своего конкурента и обладает следующими преимуществами:

- повышение ресурса эксплуатации БДТ путем снижения дополнительных изгибающих нагрузок на направляющую с корпусом, появляющихся от результирующей силы реакции опоры в крайних положениях каретки укладчика, посредством применения перемещения каретки под углом, отличным от вертикального;

- достижение меньшей трудоемкости подготовки к монтажу на скважине и демонтажу после проведения скважинной операции, посредством использования тангенциального зажима-фиксатора направляющей каретки укладчика;

- повышение периода эксплуатации БДТ путем компенсации веса подвижного узла, воздействующего на безмуфтовую длинномерную трубу с дополнительной изгибающей нагрузкой, посредством использования

пружины растяжения в кинематическом соединении между корпусом каретки и направляющей.

Следует еще раз отметить, что проведение такого рода анализа, заключающегося в детальном изучении характерных узлов и агрегатов колтюбинговой установки и объединению их в группы по общему признаку, позволяющего упростить задачу по определению надежности установки в целом, является лишь одним из начальных и необходимых этапов разрабатываемой методики, которая в дальнейшем может послужить теоретической базой для основ конструирования машин такого типа, предназначенных для эксплуатации в условиях предельно низких температур.

#### Список литературы

1. Васильев В.В., Кондрашов П.М., Зеньков И.В. Обеспечение надежности конструкции колтюбинговых установок в условиях крайнего севера / В.В. Васильев, П.М. Кондрашов, И.В. Зеньков // Вестник КузГТУ. – 2016. - №2. – С. 91-98.

2. Вайншток С.М., Молчанов А.Г., Некрасов В.И., Чернобровкин В.И. Подземный ремонт и бурение скважин с применением гибких труб. - М.: Издательство Академии горных наук, 1999. - 224 с.

3. А. с. 103127, РФ, МПК E21B 19/22. Устройство для намотки длинномерной стальной трубы / СЗАО «ФИДМАШ»; Л. М. Груздилович [и др.]. – Оpubл. в Б.И., 27.03.2011. - № 9.

4. А. с. 112260, РФ, МПК E21B 19/22. Барабан колтюбинговой установки / ООО «РГМ-Нефть-Газ-Сервис»; Е. М. Гриценко [и др.]. – Оpubл. в Б.И., 10.01.2012. - № 1.

5. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 640 с.

6. А. с. 118676, РФ, МПК E21B 19/22. Каретка укладчика / ООО «РГМ-Нефть-Газ-Сервис»; Е. М. Гриценко [и др.]. – Оpubл. в Б.И., 27.07.2012. - № 21.