



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY



## ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ- 2017

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ,  
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
“ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ 2017”  
ПОСВЯЩЕННОЙ ГОДУ ЭКОЛОГИИ В РФ

КРАСНОЯРСК, СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

17-21 АПРЕЛЯ 2017 Г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»**

**Проспект Свободный - 2017**

Материалы научной конференции  
посвященной Году экологии в Российской Федерации  
**17-21 апреля 2017 г.**

*Электронное издание*

Красноярск  
СФУ  
2017 г.

## **Транспортные и технологические машины и оборудование**

## **АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСКАВАТОРА ПРИ ПЛАНИРОВОЧНЫХ РАБОТАХ**

**Корнеев А.А**

**Научный руководитель д-р техн. наук Павлов В.П.**

*Сибирский федеральный университет*

Более 38% объемов земляных работ в строительстве выполняются одноковшовыми экскаваторами (ЭО). Эти работы достаточно трудоемки и не всегда обеспечивают требуемую точность производства планировочных работ, часть работ выполняют вручную [1].

В настоящее время созданы системы автоматического управления, задачей которых является удаленное управление рабочим органом экскаватора и позиционирование его с высокой точностью относительно проектных отметок [2].

На точность копания грунта рабочим органом оказывает влияние большое количество факторов: погрешности из-за влияния климатических условий; ошибки управляющих воздействий, формируемых человеком-оператором или системой автоматического управления; погрешности со стороны обрабатываемого грунта на рабочий орган; погрешности при работе гидромеханизмов. Задачей настоящей работы является оценка и моделирование параметров рабочего оборудования при выполнении планировочных работ.

Связи конструктивно-технологических параметров экскаватора с параметрами точности выполнены на основе математической модели, использующей матрицы размера  $4 \times 4$ , преобразующие однородные координаты точек двухмерного пространства [3]. Координаты любого шарнира или расчетной точки рабочего оборудования экскаватора определены в системе координат  $OXY$ , совмещенной с опорной поверхностью (грунтом). Рассматриваемое оборудование: обратная лопата обладает тремя степенями свободы, положение элементов оборудования (стрелы, рукояти, ковша) определяется функцией трех угловых координат  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  (рис. 1). Положительное значение угловых координат соответствует положению вращающегося против движения часовой стрелки радиус-вектора. Рабочее оборудование представляет собой многосвязный механизм, состоящий из  $m$  твердых тел (звеньев), образующих  $n$  вращательных пар.

Моделирование проводилось на примере одноковшового экскаватора третьей размерной группы. Кинематический анализ параметров рабочего органа экскаватора выполнен с использованием имитационного моделирования в среде MATLAB.

Связь между однородными координатами некоторой точки в  $i$ -й и  $(i-1)$ -й системах координат запишем в виде:

$$X^{(i-1)} = T_{i-1,i} \cdot X^{(i)},$$

где  $T_{i-1,i}$  - матрица перехода от  $i$ -й к  $(i-1)$ -й системе координат.

Однородные координаты точки  $X^{(i)}$  в декартовой системе координат  $Oxy$

$$T = T_{0,1} \cdot X^{(i)},$$

где  $T_{0,1}$  - матрица перехода от системы координат  $Oxy$  к системе  $O_1x_1y_1$ :

$$T = T_{0,1} \cdot T_{1,2} \cdot T_{2,3} \cdot \dots \cdot T_{i-1,i}.$$

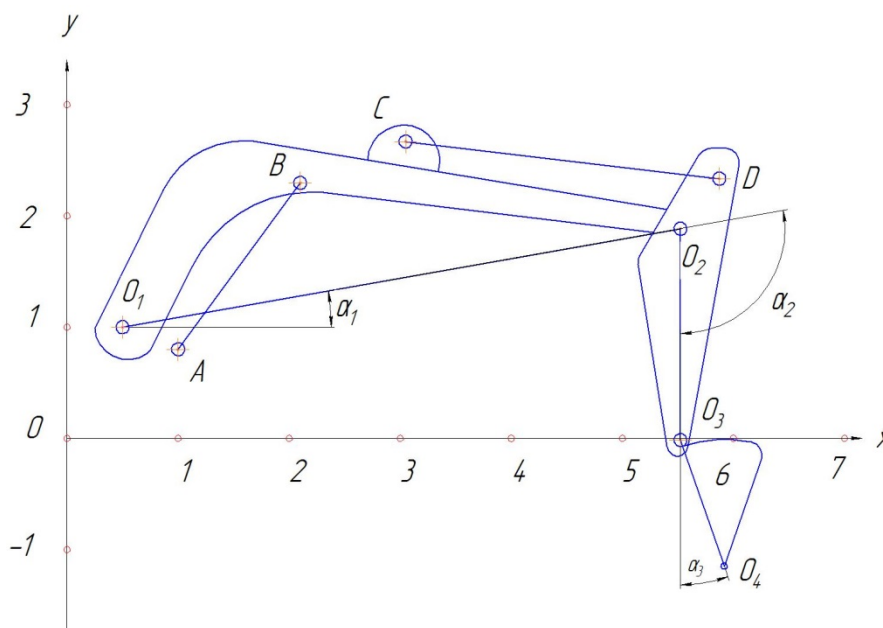


Рис. 1 - Схема к оценке кинематических параметров ЭО

Результат исследования параметров ЭО в среде MATLAB представлен для случая, когда режущая кромка ковша экскаватора опускается в котлован на глубину один, два и три метра (рис. 2) при соответствующем изменении длины гидроцилиндра стрелы.

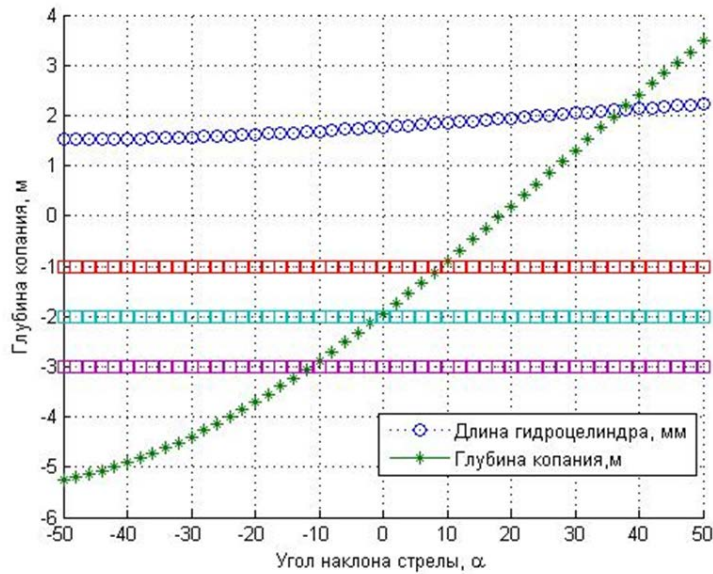


Рис.2 - Зависимость длины гидроцилиндра и глубины копания от угла наклона стрелы

Из графика видно, что при опускании режущей кромки ковша на глубину 1 м угол наклона стрелы экскаватора будет  $\alpha_1 = 9^\circ$ . При регламентируемом СНИП значении допуска на точность планировки котлована 0,05 м были построены графики детализации глубины копания на (рис. 3).

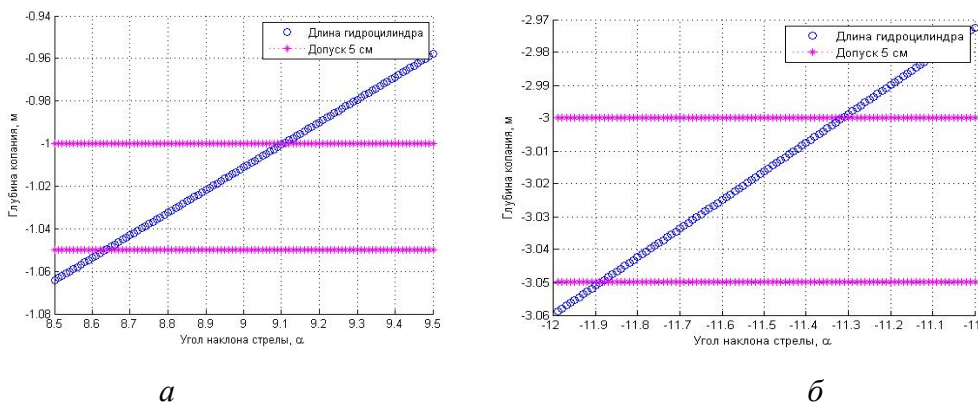


Рис. 3 – Перемещение штока гидроцилиндра стрелы в пределах допуска на точность планировочных работ при глубине копания: а – 1 м; б – 3 м

Из графика видим, что при глубине копания один метр стрела может отклониться на 0,45 градуса от первоначального положения при заданном допуске 5 см. Аналогичные результаты получены для глубины 2 и 3 м. Таким образом, независимо от глубины копания, точность позиционирования стрелы составляет 0,45–0,5 град. при заданном допуске 5 см.

Эти и другие результаты моделирования формируют комплекс требований на проектирование рабочего оборудования при выполнении планировочных работ, а также

требования на проектирование системы привода и системы автоматического управления [2, 4].

Из результатов исследования видно, что перемещения режущей кромки ковша на разных глубинах практически линейно связаны с соответствующими перемещениями штока гидроцилиндра стрелы. На практике сочетание положений стрелы и рукояти определяется оператором. В зависимости от положения режущей кромки ковша в забое таких сочетаний может быть достаточно много. И эти сочетания можно представить как случайные. Для случая равномерного распределения положений рукояти и стрелы оценки глубины копания представлены на (рис. 4).

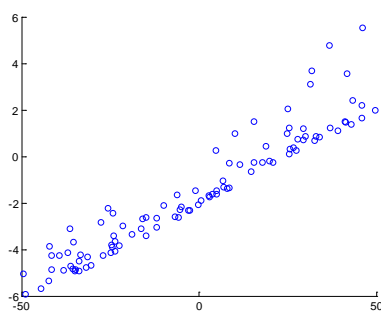


Рис. 4 – Реализация случайных положений рукояти и стрелы экскаватора в оценке точности планировочных работ

Установлено, что более чем на 90 % точность позиционирования рабочего оборудования определяется положением стрелы. Это обстоятельство направляет дальнейшие исследования на совершенствование гидропривода подъема стрелы при малых перемещениях штока гидроцилиндра стрелы с учетом целенаправленных воздействий со стороны оператора.

#### **Список использованных источников**

1. Алексеева Т.В., Щербаков В.С. Оценка и повышение точности землеройно-транспортных машин: Учебное пособие.-Омск: СибАДИ, 1981,– 99с.
2. Корнеев А.А., Павлов В.П. Сравнительный анализ компонентной базы систем нивелирования дорожно-строительных машин//Проблемы и инновации в области механизации и технологий в строительных и дорожных отраслях: материалы международной научной конференции.– Саратов:2016. С. 58–61.
3. Павлов В.П., Основы системотехники многоцелевых землеройных машин: монография / В. П. Павлов. – Красноярск: КГТУ, 2006, – 332с.
4. Побегайло П.А. Мощные одноковшовые экскаваторы: Выбор основных геометрических параметров рабочего оборудования на ранних стадиях проектирования. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 296 с.

## УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ВИЭ С ГИДРООБЪЕМНЫМ МУЛЬТИПЛИКАТОРОМ.

Личадеев И. С.

Научный руководитель канд. техн. наук Никитин А. А.

*Сибирский федеральный университет*

Подавляющее большинство современных производителей установок на основе ВИЭ, ветра и воды отдают предпочтения «классической» технологии для передаточного механизма между приводной турбиной и генератором.



Рис. 1 – «Классическая» технология передаточного механизма современных ВЭУ

Рассмотрим «классическую технологию» на примере ВЭУ (см. рис. 1). Вал приводной турбины ВЭУ соединен через механический мультипликатор или коробку передач. КПД такого привода составляет 85...90 % [1].

Недостатками механического передаточного механизма по отношению к ВЭУ является:

- Отсутствие возможности регулировки оборотов на выходе мультипликатора;
- Использование асинхронных генераторов для поддержания частоты вырабатываемого напряжения (КПД 60-70 %);
- Потери в механической передаче (порядка 10-15 %);
- Низкая производительность (Общий КПД порядка 60 %)

Представителями такой технологии являются, например датский производитель, ВЭУ – «Vestas» (см рис. 2), микроГЭС – немецкий «SmartHydroPower» (см.рис. 3).

Гидрообъемный привод вращательного движения широко известен [2] (см. рис.4). Как и любой передаточный механизм, он имеет свои преимущества, среди которых:

- Компактность и мобильность компоновки;



- Возможность обеспечения больших передаточных отношений между двигателем и исполнительным механизмом;
- Возможность контроля усилий, развиваемых исполнительным органом.

и недостатки:

- Потери на трение и утечки рабочей жидкости;
- Нагрев рабочей жидкости;
- Высокие требования к фильтрации рабочей жидкости.



Рис. 2 – ВЭУ немецкой компании «Vestas»

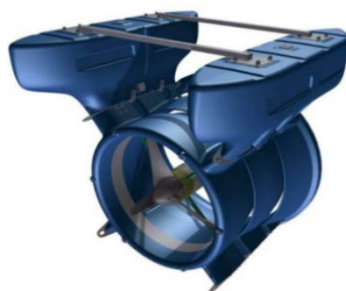


Рис. 3 – Свободнопоточная микроГЭС немецкой компании «SmartHydroPower»

При грамотном проектировании и эксплуатации гидропривода его недостатки могут быть сведены к минимуму. Таким образом, гидравлический привод можно использовать в качестве передаточного механизма между приводной турбиной и генератором, современных установок на основе ВИЭ, и в этом есть свои преимущества, в сравнении с «классической» технологией:

- Раздельная компоновка приводной турбины и генератора;
- Приемлемый КПД неразделенной передачи (85...95 %);
- Возможность стабилизации и регулировки оборотов на выходе мультипликатора;
- Использование более производительных синхронных генераторов (КПД 85-90 %).

Технология гидравлического передаточного механизма в ветроэнергетической отрасли является инновационной [1]. Ее используют лишь две компании в мире,

производители ВЭУ, немецкая компания «Nordwind» (см. рис. 5), новозеландская компания «Windflow».

Кроме того, инновационной считается технология «безредукторного» соединения приводной турбины и генератора (см. рис. 7). Преимуществом является отсутствие потерь в передаче (по сравнению с мультипликаторами), что обусловлено технологичностью установки с точки зрения сокращения компонентов, и, следовательно, увеличение надежности, недостатком – необходимость использования специализированных тихоходных синхронных генераторов, а также устройств для синхронизации с сетью (выпрямитель и инвертор) [1].



Рис. 4 – Гидрообъемный привод вращательного движения

Как было сказано выше синхронные генераторы имеют преимущество перед асинхронными в производительности, однако в случае его использования в технологии безредукторной передачи имеют существенные недостатки:

- Стоимость;
- Потери производительности с учетом потерь на синхронизирующие устройства;
- КПД на уровне «классической» технологии;

Как правило эта технология используется производителями либо на очень малой, либо на очень большой мощности, например, инновационная разработка немецкой компании «Siemens» - SWT-3.0-101. (см. рис. 6).



Рис. 5 – ВЭУ немецкой компании «Nordwind»

Если говорить о технико-экономической эффективности рассмотренных выше передаточных механизмов, можно сравнить стоимости ВЭУ с «классической» технологией наиболее известного в мире производителя «Vestas» модели V52-850 мощностью  $P = 850$ ,

кВт и «гидрообъемным мультипликатором» NordwindNW 52-900 мощностью  $P = 900$ , кВт(см. табл. 1).

Технология «безредукторного» соединения начала развиваться не так давно, поэтому подобные, представленные в таблице 1 данные от компании Siemens довольно трудно найти. Однако, проведя собственное исследование, мы заметили насколько очевидно велика разница в стоимости тихоходных и быстроходных синхронных генераторов, и таким образом не менее привлекательной выглядит технология гидрообъемного мультипликатора в сравнении с безредукторным соединением (см. рис. 7).

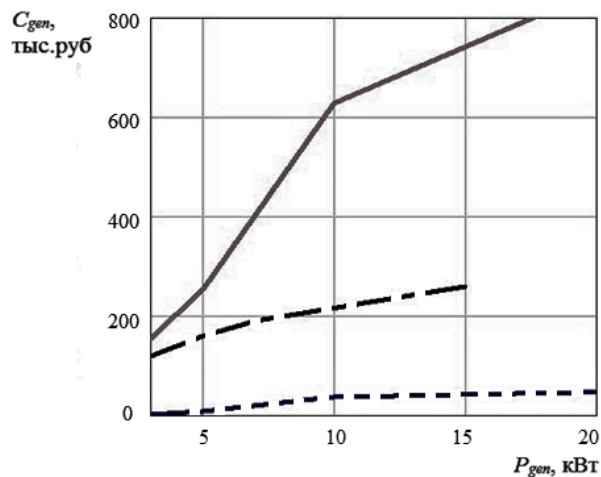
Таблица 1 – Сравнительные характеристики для ВЭУ.

Вид технологии	Уст. мощность $P$ , кВт	$v_{min}$ , м/с	$v_{nom}$ , м/с	$v_{max}$ , м/с	Срок службы, лет	Стоимость, млн. руб.	Удельная стоимость, руб./кВт
«Механический мультипликатор»	850	4	16	25	25	54,1	63647
«Гидрообъемный мультипликатор»	900	3	13	35	25	32	35556



Рис.6 – Безредукторная технология ВЭУ немецкой компании «Siemens»

Подводя итог можно сделать вывод, что из всех рассмотренных технологий соединения приводной турбины и генератора в установках ВИЭ, наиболее перспективной является технология гидрообъемного мультипликатора. У нее наиболее привлекательная цена при повышении производительности установки на 10...25 % (КПД порядка 0,7...0,85). Она технологически более проста, с точки зрения синхронизации с сетью (не нужны дополнительные устройства), однако в тоже время, менее технологична с точки зрения надежности (из-за большего количества компонентов). Учитывая предрасположенность гидравлики к отказам и снижению надежности элементов при неправильном проектировании систем и их дальнейшей эксплуатации, следует учитывать, что проектирование гидрообъемного мультипликатора является важнейшей частью безотказной и надежной эксплуатации в дальнейшем.



- тихоходные генераторы;
- - - - - быстроходные генераторы;
- · · · · МГС + быстроходный генератор.

Рис.7 – График зависимости стоимости  $C_{gen}$  мультипликационной гидравлической системой вместе с быстроходным генератором от мощности  $P_{gen}$ .

#### Список использованных источников

1. Техничко-экономическая оценка возможности использования возобновляемых источников энергии на территории Красноярского края в разрезе муниципальных образований края: отчет о НИР / Сибирский Федеральний Университет ; рук. Бойко Е. А.; исполн.: Тимофеев В. Н., Лимаренко Г. Н., Бобров А.В., Тремясов В. А., Головин М. П., Тимофеев С.П., Лыбзиков Г.Ф., Первухин М.В., Чебодаев А. В., Бастрон А. В., Встовский А. Л., Емец А. А., Янов С. Р., Шишмарев П. В., Никитин А. А., Федий К. С., Сорокин Е. А., Колбасина Н. И., Шаповалов В. А., Заграбчук С.Ф., Спирип Е. А., Волобуев А. А., Сафоренко Т. П., Григорян С. Ж., Морозов Д. И., Кенден К. В., Архипцев М. Г. – Красноярск, 2013. – Реферат, Том II – Ветроэнергетика, 351 с., 235 рис., 39 источников, 1 прил.

2. Гринчар Н.Г., Зайцева Н.А. Основы гидропривода машин: учеб. пособие: в 2 ч. — М.:ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. Ч. 1. — 442 С.

## **РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКИ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ**

**Клешнин В.Ю.**

**Научный руководитель канд. техн. наук, зав. каф. ПТМиР Гришко Г.С.**

*Сибирский федеральный университет*

Бестраншейная прокладка подземных коммуникаций является передовой технологией в строительстве. В отличие от традиционного способа рытья траншей, она позволяет сохранить архитектурную ценность, а также минимизировать урон, наносимый окружающей среде.

Размещение коммуникаций под землей является наиболее выгодным по сравнению с наземной и воздушной прокладкой. Положительный эффект при этом заключается в повышении защищенности коммуникаций, освобождении дорогостоящей территории, а также экономической эффективности.

Существует несколько способов бестраншейной прокладки подземных коммуникаций. Наиболее распространенными являются: метод прокола, использование пневмопробойников, горизонтально-направленное бурение (ГНБ). Каждый из указанных способов имеет свои преимущества и недостатки, а выбор наиболее оптимального зависит от конкретной задачи и свойств грунта. Например, метод ГНБ позволяет прокладывать коммуникации большого диаметра (до 2050мм), но имеет высокую стоимость. Поэтому при необходимости прокладки коммуникаций небольшого диаметра, выгодно использовать пневмопробойник.

Предлагаемый робототехнический комплекс предназначен для прокладки коммуникаций диаметром до 120 мм [1]. Основными достоинствами разрабатываемого комплекса являются:

- **Точность.** В некоторых случаях, это ключевой фактор. Повышенные требования к точности возникают, когда коммуникации проходят рядом с уже существующими, либо в очень ответственных работах. Точность обеспечивается за счет движения посредством ввинчивания, а также конструктивных особенностей корпуса. Устройство имеет систему изменения траектории движения.

- **Мобильность.** Время, количество персонала, затраченное на перевозку оборудования, и способ транспортировки также определяют выбор. Мобильность обеспечивается за счет небольших габаритных размеров. Длина подземной части комплекса

составляет менее двух метров, а масса не более 100 кг. Это позволяет перевозить оборудование даже на легковом автомобиле, с использованием прицепа.

- Базовая стоимость. Важный показатель для организаций, осуществляющих прокладку коммуникаций. Расчетная стоимость не превышает 200 000 рублей. Это достигается за счет унификации и модульного исполнения компонентов. Например, привод включает в себя двигатель 0,7 кВт и два последовательно установленных планетарных редуктора.

- Снижение затрат на подготовительный этап. На подготовительные работы, такие как рытье котлованов и установка оборудования, уходит много времени и денег, что снижает экономическую эффективность процесса. Разработанный комплекс имеет стартовую площадку, и не нуждается в больших подготовительных работах. Робот стартует с рамы под нужным углом атаки, и уже в грунте выходит на нужную траекторию.

На рисунке 1 показан общий вид прототипа устройства.

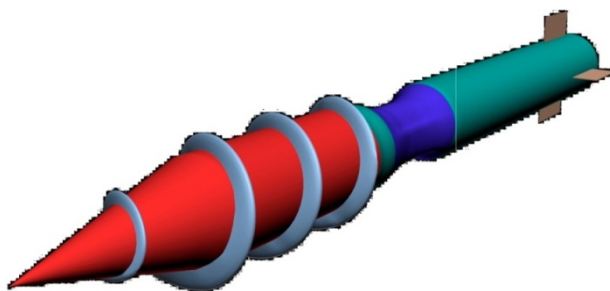


Рис. 1 –Подземная самодвижущаяся часть робототехнического комплекса

Исходя из проведенного патентного анализа известно, что устройства, основанные на принципе движения при ввинчивании, известны, но не нашли реального применения. [2] При сборке и монтаже комплекса такого рода устройства имеют слишком сложную конструкцию, а кроме того низкую надежность, обусловленную работой по шаговому принципу. В устройствах применяются распоры, домкраты и др. Примеры показаны на рисунках 2 и 3.

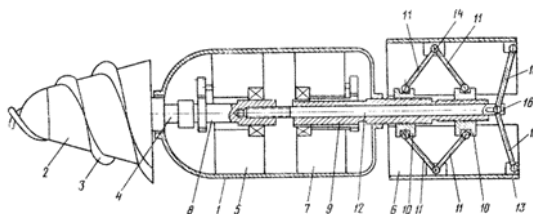


Рис. 2 –А.с. № 324345[3]

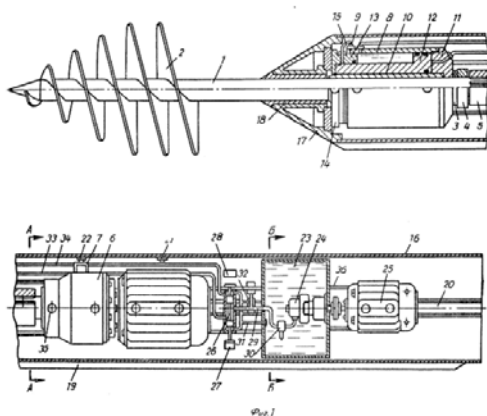


Рис. 3 – А.с. № 250038 [4]

Необходимость использования подобной конструкции объясняется большими усилиями, необходимыми для движения в грунте. Например, максимальное нажимное усилие разработанного комплекса составляет более 9000 Н, а максимальный крутящий момент, свыше 4500 Н\*м. Конструкция опытного образца подземной части комплекса представлена на рисунке 4.

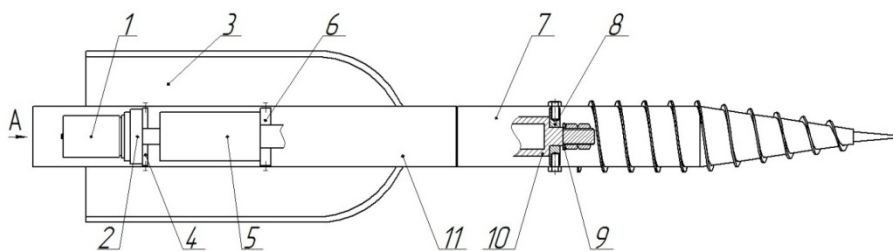


Рис. 4 – Подземная часть комплекса

Работает устройство следующим образом.

Двигатель 1 передает крутящий момент на редуктор 2, который имеет фланцевое крепление. Фланец 4, посредством болтового соединения, крепится к корпусу 11, к которому крепятся продольные ребра 3. Они воспринимают и передают реактивный момент на окружающий грунт. Крутящий момент от редуктора 2 передается редуктору 5, который крепится к фланцу 6, последний крепится к корпусу 11, посредством болтового соединения. Далее крутящий момент передается на рабочий орган 7, посредством вала 10 и муфты 8. Ввинчиваясь в грунт, рабочий орган 7 перемещает муфту 8 в осевом направлении. Муфта 8 упирается в шайбу 9, протягивая таким образом за собой корпус 11 устройства.

Винтовая передача имеет существенный недостаток, низкий коэффициент полезного действия. Поэтому, возможно, такие устройства не получили реального применения. Однако использование современных антифрикционных покрытий позволит качественно повысить эффективность подобных устройств за счет существенного снижения сил трения.

### Список используемых источников

1. Клешнин В.Ю., Гришко Г.С. Робототехнический комплекс для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций. Сборник материалов Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив-2016», посвященной Году образования в Содружестве Независимых Государств, Красноярск, СФУ, 15-25 апреля 2016 г – 23-25с
2. [электронный ресурс] : Федер. Институт промышленной собственности. Режим доступа: <http://www.fips.ru>.
3. Пат. 324345 СССР. МПК E02 F 5/18. Устройство для образования скважин в грунте. Гольдштейн Б.Г., Рейнсбург А.М., Захаров М.К., Толков Б.Г., Соломко В.Е.
4. Пат. 250038 СССР. МПК МКЕ02 F 5/18. Устройство для образования скважин в грунте при бестраншейной прокладке труб. Сазанцов А.П., Беляев Т.С.