

Гусев И.В., Чубаров Ф.Л.

**ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ПРОКОЛА ГРУНТА
ПРИ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКЕ ТРУБ**

Аннотация. В работе рассматривается одна из основных проблем - проблема управляемого прокола грунта при бестраншейной прокладке коммуникаций. Авторами проведен анализ современного состояния решения данной проблемы применимо к установкам, работающим согласно методу прокола, проведен вариативный анализ возможных принципиальных схем управления проколом и в качестве базовой выбрана схема с применением радиосигнала для реализации обратной связи в замкнутой системе. Предложены наиболее подходящие системы локации, посредством которых возможна оценка текущего положения пилотного наконечника.

Ключевые слова: управляемый прокол; бурошнековый гидропривод; бестраншейная установка.

Gusev I., Chubarov F.

**APPLICATION OF CONTROLLED GROUND PUNCTURE
IN TRENCHLESS PIPELAYING**

Abstract. This paper considers the problem of controlled puncture ground at trenchless laying communications, one of the main problems in trenchless pipe modules. The authors analyzed the current state of the solution to this problem is applicable to installations operating by the method of puncture, performed analysis of variability of possible concepts and management thrust is selected as the base circuit using a radio signal for the feedback in a closed system. Offered the most suitable location system by which is possible to estimate the specific situation of the pilot tip.

Keywords: controlled puncture; hydraulic auger; trenchless installation.

В настоящее время одним из эффективных методов прокладки или замены труб является технология прокола грунта до приемного колодца с последующем втягиванием в образовавшуюся пилотную скважину полиэтиленовой трубы или задавливания трубы в грунт при использовании чугунных и стальных труб [1].

При использовании этой технологии остро встает вопрос математического описания траектории прокола грунта. Предполагается следующий путь решения: применение системы локации, в которую входят приемно-вычислительная наземная система и автономный зонд в совокупности со специально изготовленной головной штангой. Для корректировки направления проходки требуется лишь отслеживать отклонения передней части первой штанги. Такой автоматический метод приведет к уменьшению ручного труда, повышению скорости прокола и увеличению экономического эффекта от применения данной технологии [2].

Перед проведением работ по замене трубопроводов или их новой прокладкой проектируется желаемая (проектная) траектория прокладки, представляющая собой совокупность точек, каждая из которых может быть однозначно определена двумя величинами, а именно: отклонением пилотной штанги по вертикали (ΔY) и отклонением пилотной штанги по горизонтали (ΔX).

Если в процессе прокладки требуется соединить два колодца (котлована) кратчайшим путем, то в этом случае проектная трасса идеализируется до прямой линии. Так как в реальных условиях добиться такой траектории достаточно сложно (скорее невозможно), то в техническом задании на проведение работ обязательно указывается максимально допустимые отклонения пилотной штанги. Как показывает практика, чаще всего, эти отклонения лежат в следующих пределах: $|\Delta Y| = |\Delta X| = 100 \text{ мм}$.

В настоящее время для реализации управляемого прокола грунта можно предложить использование систем локации для ГНБ. Благодаря их универсальности они идеально подходят и для работ методом прокола [3].

Для расчета трасс при работе методом ГНБ в настоящее время создано несколько программ, наиболее распространенной из которых в России является Drill Site. Для работ же, проводимых методом прокола, подобных программ нет.

В качестве возможного варианта программы для расчета трассы при работе методом прокола можно предложить следующий. На экране монитора задаются параметры грунта, расстояние между котлованами (колодцами), возможные отклонения от проектной трассы, препятствия и т.д. Программа, используя ряд математических зависимостей и логических условий, составляет проектную трассу из конечного числа точек (обычно 15-20).

Для осуществления регулирования и автоматического управления необходимо выбрать принципиальную схему системы управления, описать ее функционально, определить структуру и дать ее математическое описание, что позволит провести исследование точности, качества и быстродействия системы, а также ее коррекции и выбор параметров [4, 5, 6]. Ниже приведена схема управления траекторией световым лучом (рисунок 1).

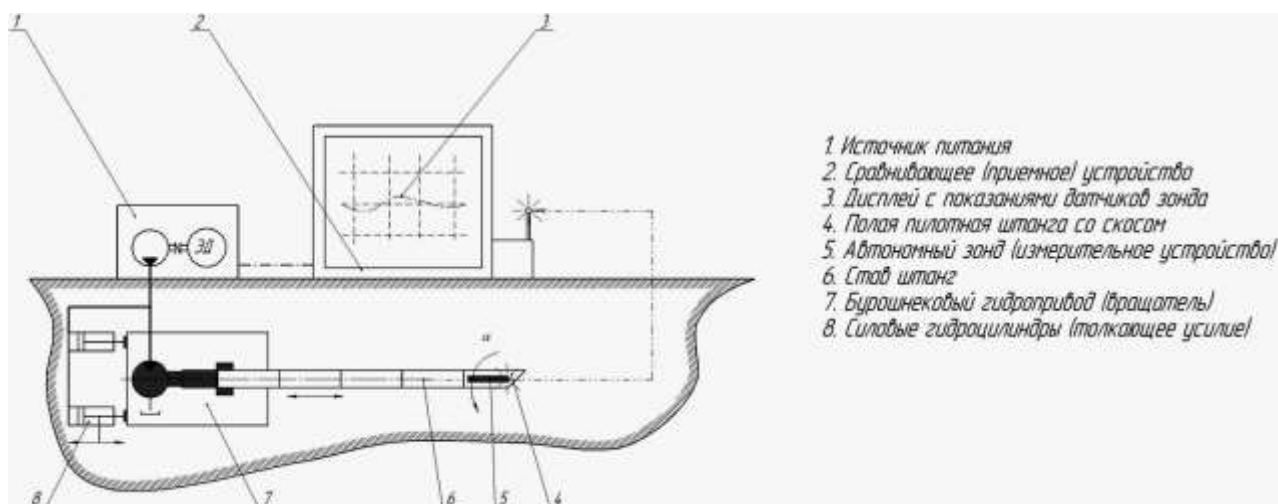


Рисунок 1. Схема управления световым лучом.

Адаптируя же схему управления световым лучом для целей управления проколом грунта, ее принцип действия можно описать следующим образом: двигатель гидростанции вращает вал основного насоса; насос подает рабочую жидкость при давлении настройки предохранительного клапана; подача идет на питание гидроцилиндров и гидромотора, при этом подача масла в гидроцилиндры в целях управления осуществляется через сервоклапан, на который подается управляющий сигнал; при завершении цикла датчик вырабатывает сигнал, определяющий действительное положение рабочего органа – несимметричного наконечника и этот сигнал

сравнивается с задающим воздействием, после чего сравнивающее устройство вырабатывает сигнал рассогласования; тем самым происходит коррекция положения рабочего органа за счет поворота наконечника. Поворот осуществляется вращателем буровых шнеков или специально установленным для целей управления проколом гидромотором.

Ниже показана схема управления траекторией прокола с использованием системы локации на основе радиосигнала (рисунок 2). Алгоритм управления подобен работе системы, приведенной ранее (рисунок 1). Вместо светового луча в качестве среды передачи данных используется радиосигнал.

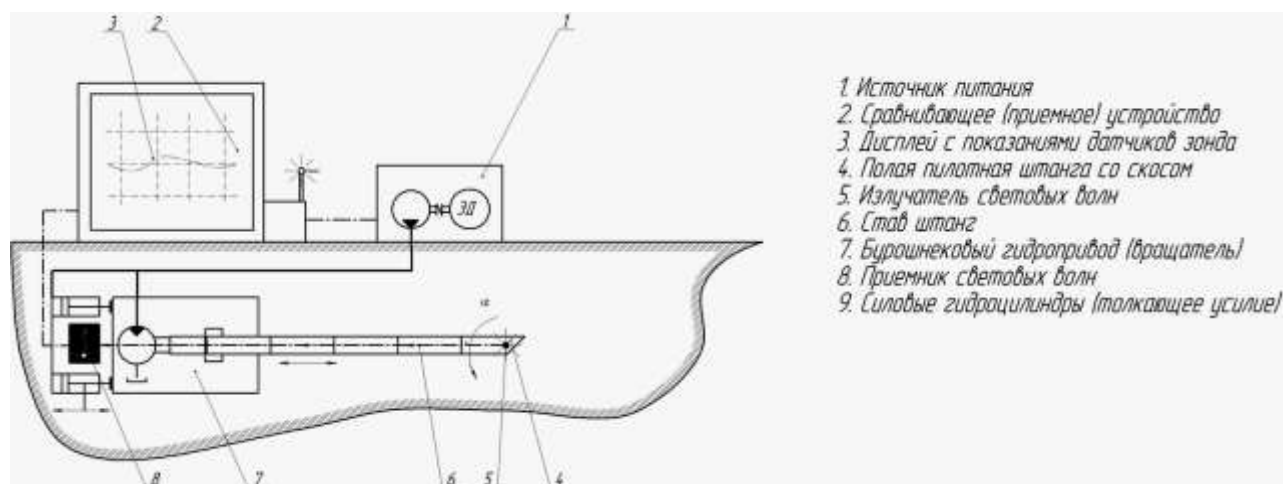


Рисунок 2. Схема управления радиосигналом.

Системы с радиосигналом более универсальны, так как в меньшей степени зависят от кривизны траектории. Более того, как показывает практика, возможность использования систем со световым лучом ограничена прямыми участками прокладки.

По мнению авторов, в качестве исполнительной части системы управления проколом грунта наиболее целесообразен выбор объемного гидропривода с машинным регулированием скорости выходного звена. Единственным существенным недостатком реализации данной системы является высокая стоимость регулируемых объемных машин.

Для позиционирования рабочих органов машин средней и большой мощности (10...200 кВт) успешно применяются электрогидравлические

следящие приводы, особенностью которых является наличие в контуре регулирования электрических устройств. Электрический сигнал управления производительностью основного насоса генерируется в приемном устройстве системы локации. Поэтому, для воздействия на регулирующий орган насоса в соответствии с электрическим сигналом от системы локации предусмотрен вспомогательный электрогидравлический сервопривод (ЭГС).

Полное математическое описание электрогидравлического сервопривода очень сложно, поэтому чаще всего пользуются упрощенным математическим описанием в виде передаточной функции второго порядка (1), (2).

$$W_{\text{ЭГС}}(S) = \frac{x_n(S)}{x_{\text{э}}(S)} = \frac{k_{\text{ЭГС}}}{T_{2y}^2 S^2 + T_{1y} S + 1} \quad (1)$$

$$k_{\text{ЭГС}} = x_{n.\text{max}} / x_{\text{э}.\text{max}} \quad (2)$$

У насоса с наклонной шайбой $x_{n.\text{max}} = 20^\circ$. Электромеханические преобразователи имеют $x_{\text{э}.\text{max}} = 25...70 \text{ мА}$. В нашем случае: $x_{\text{э}.\text{max}} = 50 \text{ мА}$.

Для данного электрогидравлического привода имеем: $T_{2y} = 0,04...0,07 \text{ с}$,
 $T_{1y} = 0,04...0,1 \text{ с}$.

На рисунке 3 приведена функциональная схема системы управления.

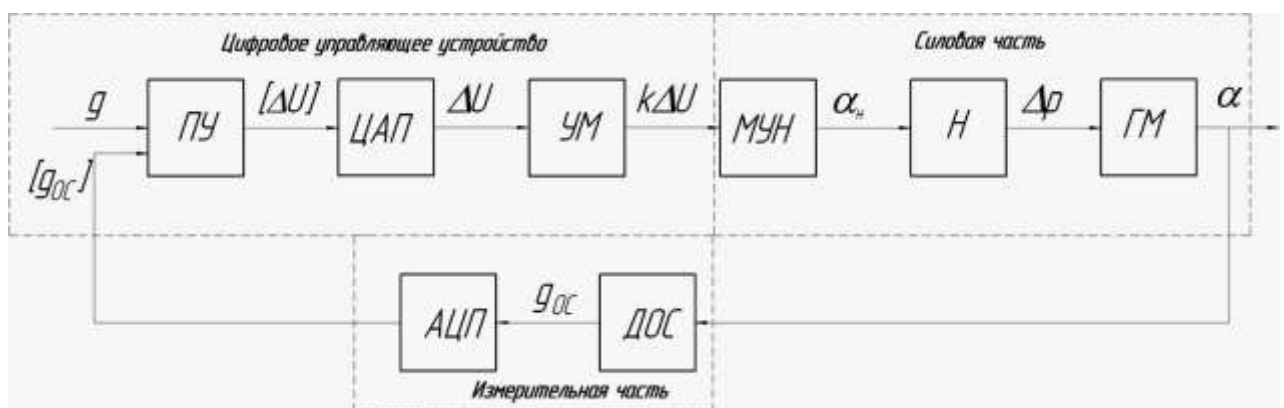


Рисунок 3. Функциональная схема системы управления.

После проведения преобразований получаем окончательную структурную схему (рисунок 4).

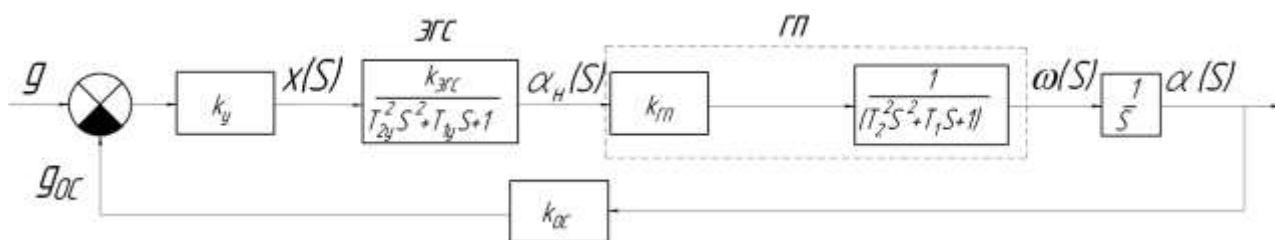


Рисунок 4. Структурная схема системы управления.

К особенностям силовой части следует отнести астатизм первого порядка (наличие интегратора в прямой цепи), из чего следует, что статическая ошибка в установившемся режиме равна нулю. Для системы позиционирования рабочего органа данное требование является критичным. Динамические исследования с использованием среды имитационного моделирования MatLab Simulink показали, что система является устойчивой. Анализируя результаты, полученные при выполнении динамического исследования, можно сделать вывод, что система управления не требует коррекции, так как даже в данном варианте удалось получить допустимые запасы устойчивости.

Список литературы

1. Балденко Д.Ф., Бидман М.Г., Калишевский В.Л. Винтовые насосы. – М.: Машиностроение. 1982. – 224 с.
2. Барков А.В., Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: Учебное пособие. - СПб.: Центр СПбГМТУ. 2004. – 152 с.
3. Бим-Бад Б.М., Кабаков М.Г., Прокофьев В.Н. Атлас конструкций гидромашин и гидропередат. – М.: Машиностроение. 1990. – 136 с.
4. Лелеева Е.Н., [Спаский К.Н. Гидравлика и гидравлические машины: Учебник.](#) – М.: Издательство Московского государственного открытого университета. 2009. - 176 с.
5. Свешников В.К. Гидрооборудование. Международный справочник.– 2001. – Т.1. – 360 с.

6. Спасский К.Н. Гидравлические машины и компрессоры: учебное пособие. – М.: Издательство Московского государственного открытого университета. 2012. - 158 с.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гусев Иван Валерьевич, студент кафедры «Гидромашины и гидропневмоавтоматика». Калужский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», ул. Баженова 2, г. Калуга, 248600, Россия.

Электронная почта: gusv09@mail.ru

Ivan V. Gusev, student of "hydraulic machines and hydropneumautomation." Kaluga branch of the federal government's budget educational institution of higher professional education "Moscow State Technical University named after NE Bauman, "st. Bazhenov 2, Kaluga, 248600, Russia.

E-mail: gusv09@mail.ru

Чубаров Федор Леонидович, доцент кафедры «Гидромашины и гидропневмоавтоматика», кандидат технических наук, доцент. Калужский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», ул. Баженова 2, г. Калуга, 248600, Россия.

Электронная почта: fedor1966chub@yandex.ru

Chubarov Fedor Leonidovich, associate professor of "hydraulic machines and hydropneumautomation", Ph.D., associate professor. Kaluga branch of the federal government's budget educational institution of higher professional education "Moscow State Technical University named after NE Bauman, "st. Bazhenov 2, Kaluga, 248600, Russia.

E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

РЕЦЕНЗЕНТ

Акименко Дмитрий Андреевич, доцент кафедры «Системы автоматического управления», кандидат технических наук, доцент. Калужский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», ул. Баженова 2, г. Калуга, 248600, Россия.

Akimenko Dmitri A., Associate Professor of "Automatic Control Systems", Ph.D., associate professor. Kaluga branch of the federal government's budget educational institution of higher professional education "Moscow State Technical University named after NE Bauman, "st. Bazhenov 2, Kaluga, 248600, Russia