

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ УКЛАДКИ ДРЕН

*А.Н. Ефремов, к.т.н., генеральный директор
ОАО «Инженерный центр «Луч», г. Москва*

Аннотация: Существующие лазерные системы автоматического управления (ЛСАУ) дренаукладчиков обладают недостатками, снижающими точность укладки дрены. Предлагаемая система состоит из ЛСАУ и программной системы автоматического управления (ПСАУ). Программатор вычисляет по разработанному алгоритму возникающие ошибки, которые актуатор устраняет путем перемещений приемника при его одновременном удержании на лазерной плоскости с помощью ЛСАУ, что обеспечивает требуемую точность укладки дрен. ЛСАУ и ПСАУ с датчиком пути позволяют укладывать дрены по заданной программе с различными и переменными уклонами без перестановки передатчика и его настройки.

Ключевые слова: Дренаукладчик, лазерная система автоматического управления (ЛСАУ), программная система автоматического управления (ПСАУ), актуатор, приемник, программатор, алгоритм, точность укладки дрены.

Известно, что при укладке дренажа широко применяют лазерные системы автоматического управления (ЛСАУ) высотным положением рабочего органа дренаукладчика. Точность укладки дрен зависит от правильного подбора всех элементов ЛСАУ. Большое значение имеет установка приемника системы, основными требованиями к которой являются:

- приемник при укладке дрены должен постоянно сохранять вертикальное положение и находится над нижней кромкой резания рабочего органа,
- вертикальное расстояние от центра приемника до дна траншеи должно быть постоянным,
- конструкция маятниковой подвески приемника должна иметь демпфер (успокоитель) во избежание раскачивания приемника от возмущающих воздействий.

Реализация этих требований осуществляется, как правило, механической маятниковой подвеской (рисунок 1), установленной на рабочем органе дренаукладчика типа ЭТЦ (ЭТЦ-202Б и ЭТЦ-2012).

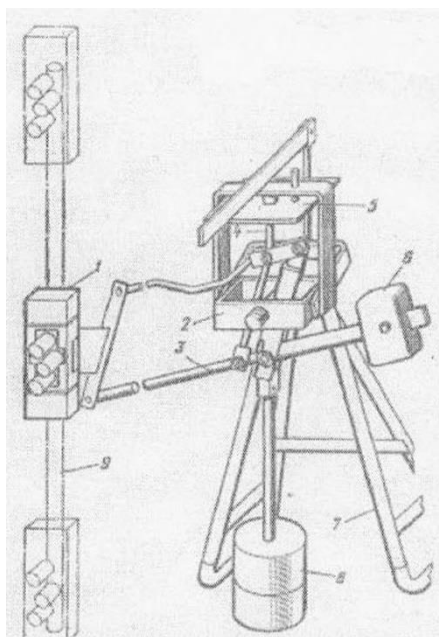


Рисунок 1 – Подвеска приемника на дреноукладчиках типа ЭТЦ с турасный валом: 1- приемник, 2-рамка, 3-параллелограмм, 4-копирный палец, 5-корректирующая пластина, 6-противовес, 7-кронштейн крепления на рабочем органе, 8-груз, 9-удлиннитель.

Подвеска обеспечивает установку приемника в трех фиксированных положениях при помощи удлинителя 9 в пределах $\pm 0,5$ м. Корректирующая пластина 5 с упирающим в нее копирным пальцем 4 предназначена для сохранения высотных положений приемника относительно дна траншеи независимо от поворота рабочего органа на турасном валу [1]. Однако эта подвеска приемника обладает следующими недостатками:

- нет аналитического обоснования параметров подвески приемника,
- корректирующая пластина устанавливается и ориентируется с ошибками, которые вносят существенную погрешность в определении величины компенсации перемещений приемника,
- большое трение, образующее между пальцем и пластиной и в узлах подвески, препятствует удержанию вертикального положения приемника,
- раскачивание грузов под действием толчков и ветровой нагрузки также нарушают вертикальное положение приемника,
- наклоны дреноукладчика в поперечной плоскости создают дополнительную погрешность в компенсации перемещений приемника,
- отсутствие возможности плавного регулирования высотного положения приемника относительно рабочего органа затрудняет начальную установку приемника и лазерного передатчика, что увеличивает вынужденные простои дреноукладчика.

Для устранения перечисленных недостатков рассмотрим предлагаемую лазерно-программную систему (ЛПС), которая используется как компенсатор погрешностей, возникающих при установке приемника на рабочий орган, поворачивающийся вокруг турсного вала дреноукладчика (рисунок 2).

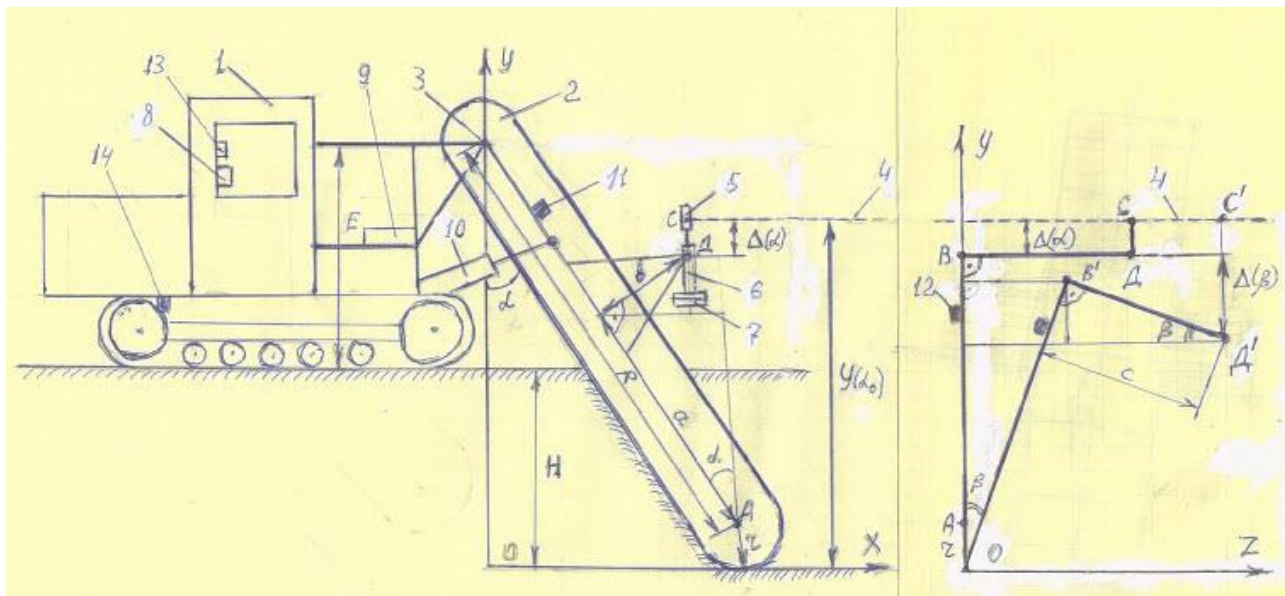


Рисунок 2-Слева-схема дреноукладчика ЭТЦ-2012 с ЛПС, справа-схема поперечного наклона вертикальной оси ОВ рабочего органа на угол β : с - поперечный вынос шарнира Д подвеса актуатора, ДС – начальное положение актуатора, Д'С' – положение актуатора при наклоне вертикальной оси рабочего органа, 1-дреноукладчик, 2- рабочий орган, 3-турсный вал, 4-лазерная опорная плоскость, 5-приемник, 6-актуатор, 7- груз, 8-пульт управления, 9-электрогидроблок, 10-гидроцилиндр рабочего органа, 11,12-датчики угла наклона рабочего органа, 13-программатор, 14-датчик пути.

Эта система состоит из типовой ЛСАУ и программной системы автоматического управления (ПСАУ) [2]. ЛСАУ включает передатчик, формирующий горизонтальную лазерную опорную плоскость 4, приемник 5, пульт управления 8, электрогидроблок 9, исполнительный гидроцилиндр 10 и рабочий орган 2 с турсным валом 3. В ПСАУ входит актуатор 6 с электроприводом и датчиком линейных перемещений штока, программатор 13, датчики угла наклона α -11 и β -12 рабочего органа в продольной и поперечной плоскостях движения дреноукладчика. Актуатор 6 с грузом 7 подвешен на шарнире Д, закрепленном на кронштейне рабочего органа. На шток актуатора закреплен приемник 5.

Алгоритм программы управления определяется следующими зависимостями:

$$Y(\alpha) = r + a \cdot \cos \alpha + b \cdot \sin \alpha + \Delta(\alpha) \quad (1),$$

$$\Delta(\alpha) = Y(\alpha) - r - a \cdot \cos \alpha - b \cdot \sin \alpha \quad (2),$$

$$\Delta(\beta) = -Y(\alpha) \cdot (1 - \cos \beta) - c \cdot \sin \beta \quad (3),$$

где $Y(\alpha_0)$ – начальная глубина копания при вводе центра приемника в лазерный луч, см,
 r – радиус обтекания ковшевой цепи на натяжном ролике, см,
 a, b – расстояния от центра натяжного ролика до точки подвеса актуатора, см
 c – поперечный вынос точки подвеса актуатора, см,
 α_0 – продольный угол наклона рабочего органа в зависимости от начальной глубины копания, град,

$\Delta(\alpha_0)$ – начальное положение центра приемника при вводе его в лазерный луч относительно точки подвеса, см,

$\Delta(\alpha)$ – компенсация отклонений центра подвески актуатора при изменении α ,

$\Delta(\beta)$ – компенсация отклонений центра подвески актуатора при изменении β ,

α, β – продольный и поперечный углы наклона рабочего органа, град.

Глубина копания определяется по формуле:

$$H(\alpha) = R \cdot \cos \alpha + r - E \quad (4),$$

где $H(\alpha)$ – глубина копания, см,

R – радиус от центра ролика натяжной цепи до центра турасного вала, см,

E – вертикальное превышение турасного вала над опорной поверхностью гусениц, см.

С использованием постоянных геометрических данных дреноукладчика ЭТЦ-202Б по формулам 1-4 на рисунке 3 построены графики компенсаций перемещений точки подвеса актуатора в продольной $\Delta(\alpha)$ и поперечной $\Delta(\beta)$ плоскостях, а также глубины копания $H(\alpha)$ в зависимости от продольного α и поперечного β углов наклона рабочего органа.

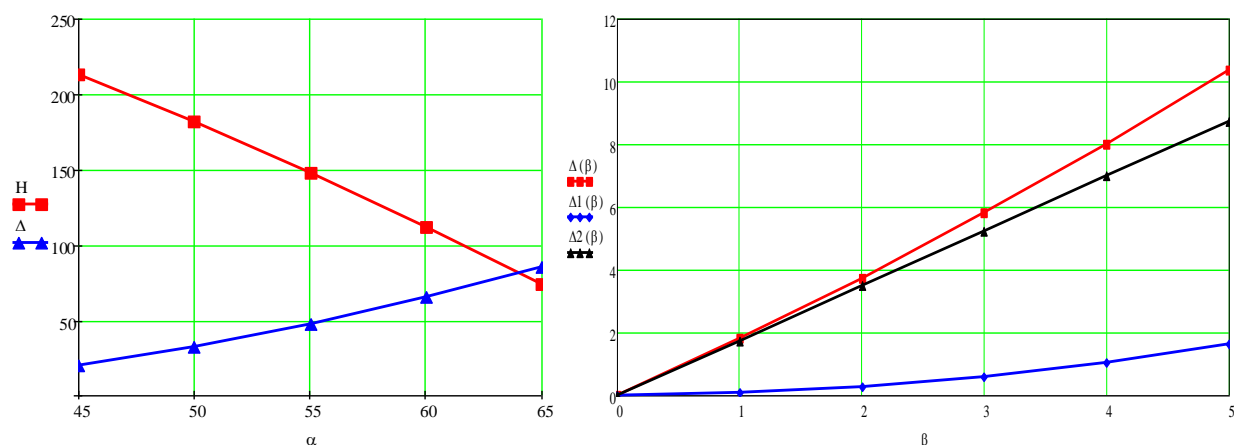


Рисунок 3 - Графики зависимости глубины копания H и величины компенсации Δ от продольного α и поперечного β углов наклона рабочего органа.

График $H(\alpha)$ приближается к прямой линии (красная линия). Зависимость $\Delta(\alpha)$ носит криволинейный характер (синяя линия) и при изменении глубины копания $H(\alpha)$, например, от 74 до 182 см, величина компенсации $\Delta(\alpha)$ достигает 32,7 см, в то время как начальная глубина копания в процессе копания $Y(\alpha_0)$, равная 429 см, остается всегда постоянной за счет

вертикальных перемещений приемника $\Delta(\alpha)$ относительно рабочего органа. Суммарная зависимость $\Delta(\beta)$, обозначенная красной линией, имеет криволинейный характер и при $\beta=5$ градусов $\Delta(\beta)=10,35$ см. Причем, величина компенсации $\Delta(\beta)2$ от поперечного выноса актуатора (черная линия), в несколько раз превышает значение $\Delta(\beta)1$ от поперечного наклона продольной оси рабочего органа (синяя линия).

В начале работы при помощи актуатора 6 с учетом вычисленных программатором значений углов наклона 11 и 12 рабочего органа приемник 5 устанавливается на центр лазерной плоскости 4, тем самым определяя начальное положение центра приемника $\Delta(\alpha)$ относительно шарнира Д в зависимости от начальной глубины копания. С ее изменением в процессе работы происходит изменение значений одного или двух датчиков угла наклона 11 и 12. Вслед за этим программатор вычисляет по формулам 1-3 значение компенсации, включает электропривод актуатора 6, перемещающий шток с приемником 5, и выключает электропривод при достижении вычисленного значения компенсации, что обеспечивает начальную сохранность положения приемника $Y(\alpha)$ относительно дна траншеи. Одновременно с этим, когда центр приемника 5 смещается вверх или вниз относительно лазерной плоскости 4, приемник вырабатывает сигнал управления, который последовательно передается на пульт управления 8, электрогидроблок 9 и исполнительный гидроцилиндр 10, возвращающий центр приемника снова на лазерную плоскость.

Маятниковая подвеска актуатора состоит из основания 1, закрепленного на кронштейне 2 рабочего органа дреноукладчика, полусферы 3, скользящего в ней полушара 4, кольца 5, скрепленного с полусферой и основанием, и маятникового стержня 6, жестко скрепленного с полушаром, актуатором 7 и грузом 8 (рисунок 4).

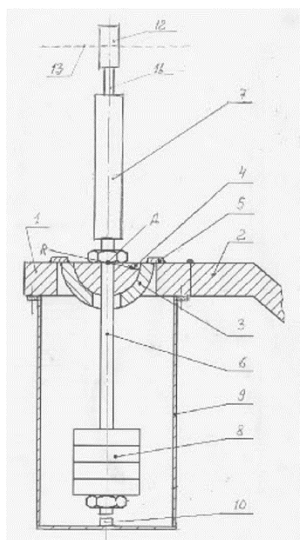


Рисунок 4 – Маятниковая подвеска актуатора: 1-основание, 2-кронштейн, 3-полусфера, 4-полушар, 5-кольцо крепления полусферы, 6-маятниковой стержень, 7- актуатор, 8-груз, 9-стакан, 10-магнитный демпфер, 11-шток актуатора, 12-приемник, 13-лазерный луч.

Снижение трения между трущимися деталями обеспечивается жидкой смазкой. Для снижения колебаний груз помещен в стакан 9 с магнитным демпфером 10. На штоке 11 актуатора закреплен приемник 12, вырабатывающий сигналы управления относительно лазерного луча 13. В процессе работы при изменении углов наклона рабочего органа маятниковый стержень 6 с грузом, актуатором 7 и приемником 12, постоянно занимает вертикальное положение за счет скольжения полушара 4 в полусфере 3. При этом раскачивание стержня 6 с грузом 8 устраняется демпфером 10, а стакан 9 исключает влияние ветра на положение груза.

Применение предлагаемой ЛПС на дреноукладчиках с турасным валом обеспечивает наибольшую точность укладки дрен, поскольку возникающие ошибки при наклоне и повороте рабочего органа относительно турасного вала полностью устраняются перемещениями приемника на штоке актуатора по командам программатора. При этом возникает возможность без потери точности выбирать любое удобное место расположения приемника с актуатором на рабочем органе дреноукладчика.

Система ПСАУ может быть одновременно снабжена датчиком пути, таким же актуатором со второй программой в зависимости от уклона и длины укладываемой дрены и лазерным передатчиком, формирующим горизонтальную лазерную плоскость [3]. Обе программы работают практически одновременно совместно с ЛСАУ. Первый приоритет в этом случае имеет вторая программа.

Предлагаемая ЛПС также может быть применима к спутниковым системам навигации GPS и ГЛОНАСС, предназначенным для регулирования глубины копания дреноукладчиков. Основные преимущества ЛПС:

- возможность применения с различными типами САУ (натянутая проволока, лазерный луч, навигационная система),
- универсальность использования на траншейных и узкотраншейных дреноукладчиках и экскаваторах с турасным валом,
- возможность применения в различных условиях эксплуатации, включая неподготовленную неровную поверхность земли, вызывающую значительные продольные и поперечные наклоны рабочего органа,
- высокая точность укладки дрен и коллекторов,
- простота и надежность в работе и невысокая стоимость ПСАУ.
- САУ и ПСАУ с датчиком пути позволяет укладывать дрены по заданной программе с различными и переменными уклонами без перестановки лазерного передатчика и его настройки.

Список используемых источников

1. А.Н. Ефремов, А.К. Камальдинов, А.И. Мармалев, В.Г. Самородов. Лазерная техника в мелиоративном строительстве. М.: Агропромиздат, 1989 - с.223.
2. А.Н.Ефремов. Патент на изобретение № 2650007 «Система автоматического управления высотным положением рабочего органа дренаукладчика», Бюл. № 10 от 06.04.2018.
3. А.Н.Ефремов. Лазерно-программные системы управления дренаукладчиков. Материалы международной конференции. Экологические аспекты мелиорации, гидротехники и водного хозяйства АПК: ВНИИГиМ, М, 2017. С 348-354.