

2. Получены пентадные и суммарные значения атмосферных осадков за вегетационный период.

3. Оросительные нормы за 2022–2024 гг. существенно различались. Эти различия напрямую обусловлены межгодовой изменчивостью осадков и температурного режима

4. Определен объем инфильтрации ( $-q$ ) из зоны аэрации в нижележащие горизонты.

5. Суммарное водопотребление культуры рассчитано с высокой точностью и составило в среднем 230...257 мм за вегетацию в зависимости от года.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алпатыев А.М., Остапчик В.П. К обоснованию формирования поливных норм с использованием биоклиматического метода расчета суммарного испарения // Мелиорация и водное хозяйство. 1971. Вып.19. С. 13–17.
2. Данильченко Н.В. Методические особенности расчета оросительных норм с.-х. культур в НЧЗ РСФСР // Техника и технология механизированного орошения. М., 1982. С. 177–186.
3. Бородычев В.В., Чечко Р.А., Дубенок Н.Н. Малоинтенсивное дождевание картофеля в Нижнем Поволжье: монография. М.: Проспект, 2017. 176 с. ISBN 978-5-392-24871-1.
4. Пчелкин В.В., Попова Е.А., Владимиров С.О. Водопотребление белокочанной капусты при капельном поливе в Нечерноземной зоне России // Научная жизнь. 2025. Т. 20, № 1 (139). С. 10–20.
5. Пчелкин В.В., Попова Е.А., Солошенко А.Д. Влияние водного режима дерново-подзолистых почв на урожайность белокочанной капусты при капельном поливе // Научная жизнь. 2024. Т. 19, № 3 (135). С. 380–387.
6. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1960. С. 62–66; 54–62.
7. Ольгаренко И.В., Эфендиев М.С. Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов // Мелиорация и водное хозяйство: материалы научно-практической конференции. Новочеркасск: Лик, 2016. С. 50–53.
8. Пчелкин В.В. Обоснование мелиоративного режима осушаемых пойменных земель. М.: КолосС, 2003. 253 с.
9. Сафин Х.М., Лукманова А.Д., Зотова Н.А. Оптимизация режима орошения люцерны на сено в почвенно-климатических условиях Башкортостана // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 1. С. 3–7. URL: <https://giscont.ru/efd/391422> (дата обращения: 28.07.2021).
10. Харченко С.И. Управление водным режимом на мелиорируемых землях в Нечерноземной зоне. М.: Гидрометеозидат, 1987. С. 206–208.

УДК 631.311.5

## ДВУХКОНТУРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЛУБИНОЙ КОПАНИЯ ДРЕНОУКЛАДЧИКОВ

А.Н. ЕФРЕМОВ

**Ключевые слова:** двухконтурные системы управления, дреноукладчик, лазерный передатчик, приемник, пульт управления, электрогидроблок, рабочий орган, точность укладки дрен, спутниковые навигационные системы управления.

**Keywords:** dual-loop control systems, drain laying machine, laser transmitter, receiver, control panel, electro-hydraulic unit, working body, drain laying accuracy, satellite navigation control systems.

**Аннотация.** Дано описание новой и известных двухконтурных лазерных систем автоматического управления глубиной копания дреноукладчиков. Представлены описание и технические характеристики двухконтурных систем и показаны их преимущества. Изложены особенности спутниковых навигационных систем управления.

## REFERENCES

1. Alpatyev A.M., & Ostapchik V.P. (1971). On the justification of irrigation norms using the bioclimatic method for calculating total evaporation. \*Melioratsiya i Vodnoye Khozyaystvo\* [Irrigation and Water Management], \*19\*, 13–17.
  2. Danil'chenko N.V. (1982). Methodological aspects of calculating irrigation norms for agricultural crops in the Non-Chernozem Zone of the RSFSR. In \*Tekhnika i Tekhnologiya Mekhanizirovannogo Orosheniya\* [Equipment and Technology of Mechanized Irrigation] (pp. 177–186).
  3. Dubenok N.N., Borodychev V.V., & Chechko R.A. (2017). \*Low-intensity sprinkler irrigation of potato in the Lower Volga region\* [Malo intensivnoye dozhdovaniye kartofelya v Nizhnem Povolzh'ye]. Moscow: Prospekt. 176 p. ISBN 978-5-392-24871-1.
  4. Pchelkin V.V., Popova E.A., & Vladimirov S.O. (2025). Water consumption of white cabbage under drip irrigation in the Non-Chernozem Zone of Russia. \*Nauchnaya Zhizn\* [Scientific Life], \*20\*(1, No. 139), 10–20.
  5. Pchelkin V.V., Popova E.A., & Soloshenkov A.D. (2024). Influence of the water regime of sod-podzolic soils on white cabbage yield under drip irrigation. \*Nauchnaya Zhizn\* [Scientific Life], \*19\*(3, No. 135), 380–387.
  6. Kostyakov A.N. (1960). \*Fundamentals of land reclamation\* [Osnovy melioratsii]. Moscow: Selkhozgiz, pp. 54–66.
  7. Ol'garenko I.V., & Efendiev M.S. (2016). Total water consumption of agricultural crops under water scarcity conditions. In \*Melioratsiya i Vodnoye Khozyaystvo: Materials of the Scientific and Practical Conference\* (pp. 50–53). Novocherkassk: LLC «Lik».
  8. Pchelkin V.V. (2003). \*Justification of the reclamation regime for drained floodplain lands\* [Obosnovaniye meliorativnogo rezhima osushayemykh poymennykh zemel']. Moscow: KolosS. 253 p.
  9. Safin Kh.M., Lukmanova A.D., & Zotova N.A. (2016). Optimization of irrigation regime for alfalfa grown for hay under the soil-climatic conditions of Bashkortostan. \*Vestnik Izhhevskoy Gosudarstvennoy Sel'skokhozyaystvennoy Akademii\* [Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy], \*(1)\*, 3–7. <https://rucont.ru/efd/391422> (accessed: 28 July 2021).
  10. Kharchenko S.I. (1987). \*Water regime management on reclaimed lands in the Non-Chernozem Zone\* [Upravleniye vodnym rezhimom na melioriruyemykh zemlyakh v Nечерноземной zone]. Moscow: Gidrometeoizdat, pp. 206–208.
- Пчелкин Виктор Владимирович**, доктор техн. наук, профессор, [9766793@mail.ru](mailto:9766793@mail.ru); **Попова Екатерина Александровна**, аспирант, [kkk97@list.ru](mailto:kkk97@list.ru), кафедра мелиорации сельскохозяйственных земель (Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Россия, г. Москва).

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-5-38-42

по укладке дренажа зарубежными и частично отечественными машинами. Назрела необходимость в разработке новых конструкций современных дренажукладчиков с системами автоматического управления, что является актуальной задачей, решение которой позволит расширить площади мелиорированных земель и увеличить выпуск и продажу сельскохозяйственной продукции.

**Материалы и методика исследований.** В настоящее время известны дренажукладчики с двухконтурными системами управления глубиной копания [1], которые состоят из основной системы и дополнительной системы, выполняющей следующие функции:

- перемещение приемника в зависимости от пройденного пути и заданного уклона дрены,
- перемещение приемника для сохранения постоянного вертикального расстояния от центра приемника до дна траншеи (для дренажукладчиков с турасным валом),
- периодическое перемещение верхней части рабочего органа от крайних положений до достижения ее среднего положения.

В задачу исследований входит реализация перечисленных решений.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Первая двухконтурная система управления устанавливалась на траншейном дренажукладчике типа ЭТЦ-202. Конструктивно система управления включает актуатор в сборе с маятниковой подвеской и грузом, коллектор для соединения кабелей, датчик пути в виде колеса, прижимаемого к спускаемой дренажной трубе, и пульт управления, устанавливаемый в кабине трактора. Актуатор снабжен электроприводом с датчиком линейных перемещений штока и устанавливается на раме рабочего органа дренажукладчика при помощи подвески. В состав системы управления входит лазерный передатчик, формирующий горизонтальную лазерную плоскость путем кругового вращения луча (рис. 1).

Применяемая аппаратура состоит из основной лазерной системы автоматического управления ЛСАУ и второй системы с программным управлением ПСАУ-2 (ИЦ «Луч»). В ЛСАУ входит лазерный передатчик ЛП, формирующий горизонтальную лазерную опорную плоскость, приемник (ПР), пульт управления (ПУ), электрогидроблок (ГБ), исполнительный гидроцилиндр (ГЦ) и рабочий орган (РО). ПСАУ-2 состоит из актуатора (АК) с встроенным электродвигателем и датчиком ДА перемещений штока, датчика пути (ДП) и программатора (ПМ) с программным обеспечением, вычисляющим перемещения штока актуатора с приемником в зависимости от заданного уклона и пройденного пути. ПСАУ-2 вычисляет и перемещает приемник по цепи управления ДП-ПМ-АК-ПР и АК-ДА-ПМ, в то время как ЛСАУ одновременно удерживает приемник на горизонтальной лазерной плоскости

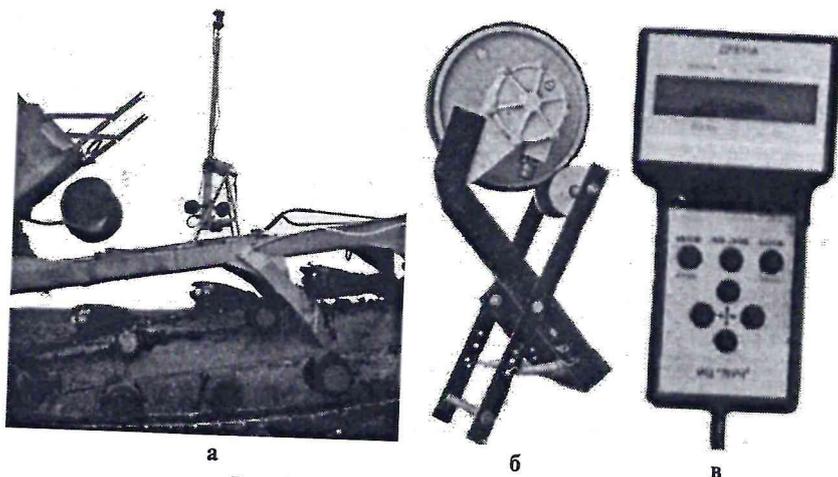


Рис. 1. Система управления ПСАУ-2:  
а — установка актуатора с приемником на рабочем органе дренажукладчика;  
б — датчик пути; в — пульт управления (программатор)

по типовой цепи управления с обратной связью ЛП-ПР-ПУ-ГБ-ГЦ-РО-ПР. При этом рабочий орган отрывает траншею с заданным уклоном дна дрены ДД (рис. 2, табл. 1).

Проверка функционирования системы управления проводилась при уклоне 0,0005 на длине дрены 100 м. Точность укладки дрены соответствует заданным требованиям  $\pm 3$  см при продольных и поперечных наклонах дренажукладчика не выше 5°.

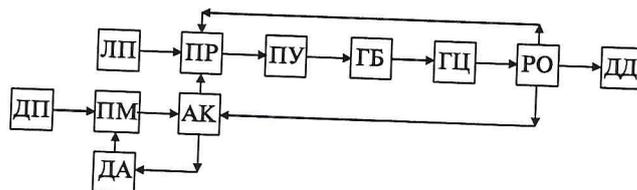


Рис. 2. Структурная схема двухконтурной лазерной системы управления ЛСАУ и ПСАУ-2

Таблица 1

Технические характеристики ПСАУ-2

Характеристики	Данные испытаний
Ход штока актуатора АК-1, мм	1100
Погрешность хода штока актуатора, мм	$\pm 5$
Погрешность измерений пройденного пути, см	$\pm 1$
Диапазон задания проектных уклонов дрены	$\pm 0,01$
Шаг задания уклона	0,0001
Номинальное напряжение бортовой сети, В	12 и 24
Потребляемая мощность, Вт	30
Габаритные размеры, мм:	
актуатора	1910×225×140
датчика пути	570×220×260
программатора	225×125×110
Масса, кг:	
актуатора	8,2
датчика пути	6,7
программатора	1,1
Точность укладки дрен, см	$\pm 3$

Применение комбинированной системы управления ЛСАУ и ПСАУ-2 позволяет укладывать дренажную сеть на площади до 50 га с переменными уклонами коллекторов и дрен с одной позиции передатчика без его перестановки, что значительно снижает подготовительные работы и исключает простои машины. При высоком положении приемника одновременно без помех обеспечивается работа других машин (перегрузатель, бульдозер), используемых одновременно при строительстве дренажа.

К настоящему времени организациями ИЦ «Луч» и ЗАО «Рустехпласт» разработана и проходит испытания одноконтурная система управления на узкотраншейном дреноукладчике ЭТЦ-160 [2] (рис. 3).

Требуемый уклон дрены задается лазерным передатчиком. Проведенные испытания показали, что допустимая точность укладки дрен в пределах  $\pm 3$  см ограничивается пределами от 1 до 1,5 м глубины копания, когда точка перегиба параболы перемещений приемника находится в середине этого интервала. За его пределами точность выходит за допустимые значения. Это вызвано



Рис. 3. Опытный образец дреноукладчика ЭТЦ-160 с одноконтурной лазерной системой управления

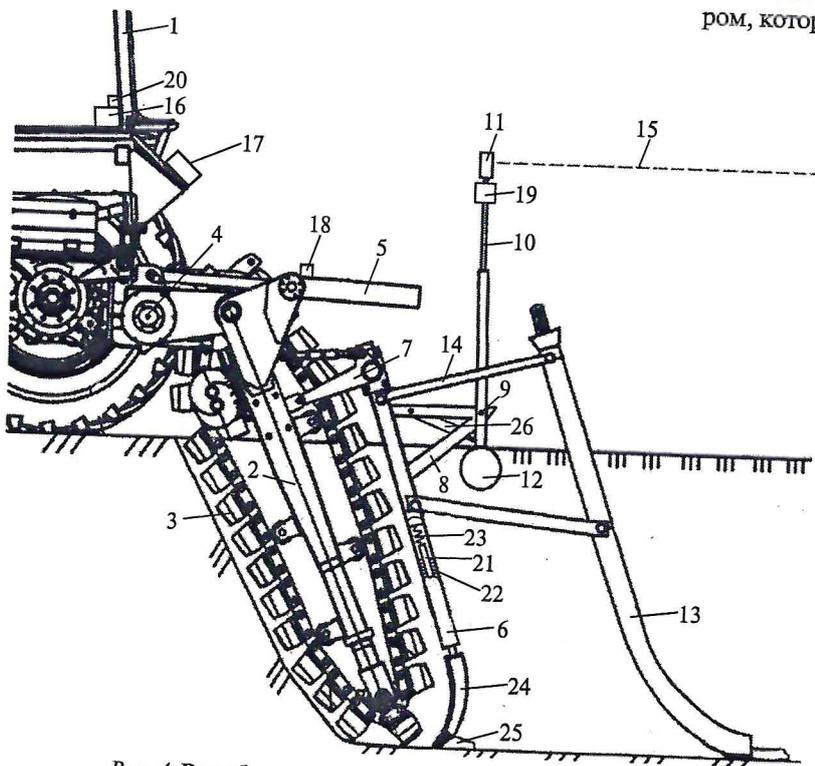


Рис. 4. Вид сбоку дреноукладчика с системой управления

тем, что не сохраняется постоянное вертикальное расстояние от центра приемника до дна траншеи при изменении глубины копания от 0,5 до 1,7 м. Во избежание этого и расширения диапазона изменения глубины копания необходимо перемещать приемник относительно рабочего органа. Этому требованию соответствует двухконтурная система управления, состоящая из основной ЛСАУ и дополнительной ПСАУ-3 систем. Основная система обеспечивает удержание центра приемника на лазерном луче, а дополнительная система служит для сохранения постоянного вертикального расстояния от центра приемника до дна траншеи [3].

Дреноукладчик с двухконтурной системой управления состоит из трактора 1, рабочего органа 2, ковшовой цепи 3, редуктора 4, гидроцилиндра 5, защитного кожуха 6, упоров 7, подставки 8 с шарниром 9, телескопической мачты 10, приемника 11, противовеса 12, спускного желоба 13, трапециевидальной шарнирной навески 14, передатчика, формирующего лазерный луч 15, пульта управления 16, электрогидрозолотника 17 (рис. 4).

В основную систему управления введена дополнительная система управления, состоящая из датчика положения штока цилиндра 18, актуатора 19 с датчиком положения приемника и блока управления 20. Внутри защитного кожуха 6 помещена подвижная штанга 21, скользящая по каткам 22 и соединенная сверху с пружиной 23, а снизу с зачистным скребком 24 на опорной пластине 25. Демпферное устройство 26 шарнирно соединено с телескопической мачтой 10 и подставкой 8. Зачистный скребок под действием пружины скользит по дну траншеи и защищает от попадания грунта. Вертикальное положение приемника на мачте поддерживается демпфером, который устраняет раскачивание приемника.

Основная система управления состоит из цепи последовательно связанных элементов ЛП(15)–ПР(11)–ПУ(16)–ГБ(17)–ГЦ(5)–РО(2)–ПР(11). Дополнительная система включает следующие последовательно соединенные составные части по цепи управления: датчик ДЦ (18) перемещений штока гидроцилиндра ГЦ (5), блок управления БУ (20), актуатор АК (19) для перемещения приемника ПР (11). В свою очередь актуатор связан с датчиком ДП перемещений приемника (рис. 5, табл. 2).

Дреноукладчик с двухконтурной системой управления ЛСАУ и ПСАУ-3 позволяет обеспечить расчетную точность укладки дрен в пределах  $\pm 3$  см при полном диапазоне изменения глубины копания 0,5...1,7 м. В настоящее время доработанная система управления изготавливается и намечено провести ее полевые испытания в Московской области при строительстве дренажа на осушаемых землях.

На дреноукладчиках с нижней подвижной ступенью рабочего органа глу-

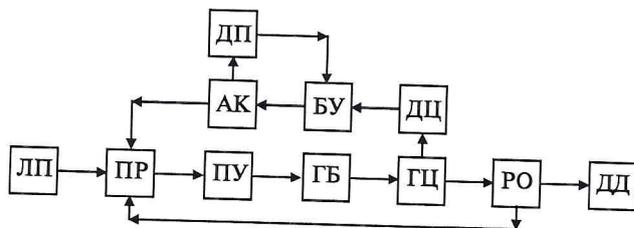


Рис. 5. Структурная схема двухконтурной системы управления ЛСАУ и ПСАУ-4

Таблица 2

Техническая характеристика узкотраншейного дреноукладчика ЭТЦ-170

Марка	ЭТЦ-170
Тип присоединения рабочего органа	Навесной
Мощность двигателя, кВт	60
Глубина траншеи, м	До 1,7
Ширина траншеи, м	0,22
Диаметр труб, мм	До 90
Скорости: рабочие, м/ч транспортные, км/ч цепи, м/с	До 800 До 33,4 0,8; 1,2; 1,5; 2,1
Масса, т	6,3
Габариты, м	7,6 × 2,3 × 3,1
Среднее удельное давление на грунт, МПа	0,033
Расчетная точность укладки дрены, см	±3

бина укладки дрен ограничена узким диапазоном хода ступени [1]. Более универсальный способ управления с подвижной ступенью применен на бестраншейном дреноукладчике ДБ-2,0М с трактором ДЭТ-250М (ИЦ «Луч», ОКБ ВНИИГиМ, ГСКБ по ирригации) для укладки пластмассовых дрен диаметром до 100 мм на глубину до 2 м в зоне орошения (рис. 6, табл. 3).

Двухступенчатый рабочий орган имеет верхнюю и нижнюю подвижные ступени. Верхняя ступень соединена с желобом для протаскивания пластмассовой трубы. Бункер жестко соединен с верхней ступенью и служит для подачи песчано-гравийной смеси, которую загружают откидным скипом при остановке машины. Толщина обсыпки вокруг трубы регулируется заслонкой, шарнирно соединенной с нижней ступенью. Рабочее оборудование навешивается на параллелограммную навеску, которая крепится к заднему мосту трактора. При укладке дрен гидроцилиндр транспортного положения параллелограммной навески находится в плавающем положении, а рабочий орган свободно опирается на лыжи, скользящие по поверхности земли. Нижняя ступень жестко связана с трехпозиционным переключателем (программатор), контролирующим среднее и крайние положения ступени.

Лазерно-программная система состоит из типовой лазерной системы

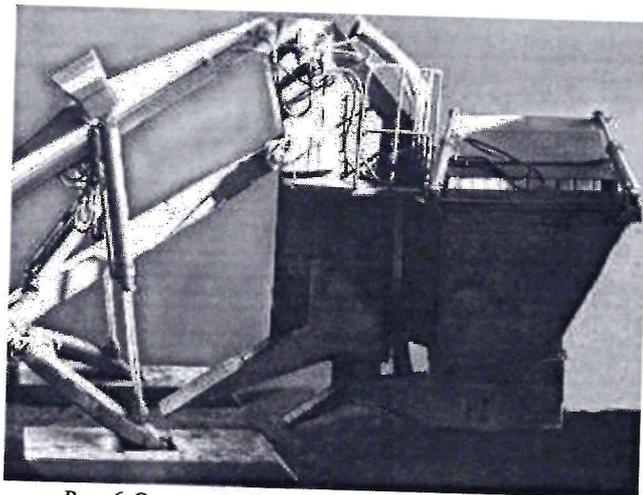


Рис. 6. Опытный образец дреноукладчика ДБ-2,0М

Таблица 3

Техническая характеристика бестраншейного дреноукладчика ДБ-2,0М

Базовая машина	Трактор ДЭТ-250М
Номинальная мощность, л.с.	250
Максимальное тяговое усилие, тс	25
Максимальная глубина укладки дрен, м	2
Ширина ножа, м	0,2
Максимальный диаметр труб, мм	100
Рабочие скорости, км/ч	До 3
Масса, т	Не определялись
Давление на грунт, МПа	Не определялись

ЛСАУ и программной системы автоматического управления ПСАУ-1 (рис. 7 и 8).

Первая система ЛСАУ включает приемник 1 (ПР), закрепленный на штанге 2, соединенной с нижней подвижной ступенью 3 (РО1), пульт управления (ПУ), электрогидроблок 6 (ГБ1), исполнительный гидроцилиндр 4 (ГЦ1) и лазерный передатчик (ЛП), фор-

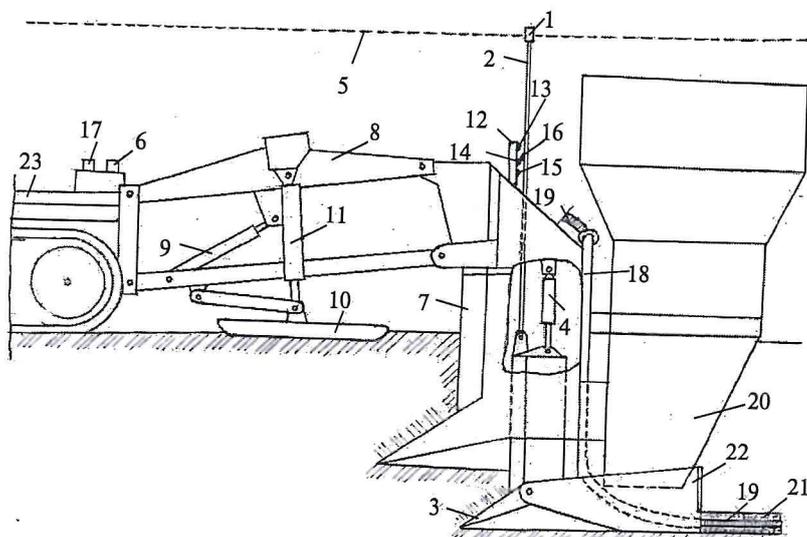


Рис. 7. Дреноукладчик ДБ-2,0М с ЛСАУ и ПСАУ-1

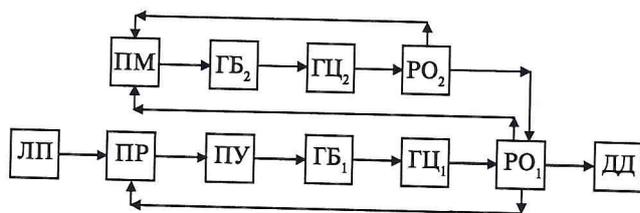


Рис. 8. Структурная схема двухконтурной системы управления ЛСАУ и ПСАУ-1

мирующей лазерной опорной плоскости 5 с заданным уклоном дрены. Вторая система ПСАУ-1 состоит из рабочего органа 7 (РО2), параллелограммной навески 8 с гидроцилиндрами 9 (ГЦ2), лыж 10 с гидроцилиндрами 11, программатора 12 (ПМ) в виде трехпозиционного переключателя с тремя контактами 13, 14, 15, которые замыкаются упором (магнитом) 16 при перемещении штанги, и электрогидроблока 17 (ГБ2).

ЛСАУ в автоматическом режиме управления удерживает подвижную ступень на проектной глубине при положении упора между верхним 13 и нижним 15 контактами. Когда упор замыкает верхний или нижний контакт, включается электрогидроблок 17 и штоки гидроцилиндров 11 лыж поднимают или опускают рабочий орган 7 относительно поверхности земли. Длительность включения продолжается до момента замыкания упором среднего контакта 14, когда гидроцилиндры 11 запираются. Одновременно с этим подвижная ступень с заслонкой 22 постоянно находятся на проектной глубине дрены. Ступень соединена со спускным желобом 18, внутри которого проходит дренажная труба 19 и ложится на дно дрены ДД.

В процессе работы бункер 20 обеспечивает подачу песчано-гравийной смеси 21 вокруг дрены 19. Приемник постоянно удерживается на лазерном луче по цепи управления ЛП—ПР—ПУ—ГБ1—ГЦ1—РО1—ПР. Программная система ПСАУ-1 периодически включается и выключается по цепи управления ПМ—ГБ2—ГЦ2—РО2—ПМ. Расстояние между перемещениями рабочего органа можно регулировать перемещениями контакторов программатора, добиваясь оптимального включения ПСАУ-1, что положительно сказывается на точности укладки дрены в пределах  $\pm 3$  см. За счет меньших нагрузок на нижнюю ступень ее скорость перемещения всегда выше скорости перемещения верхней ступени, испытывающей значительное защемление в грунте. Наиболее эффективно использование такой двухконтурной системы управления на бестраншейных дренажных укладчиках при глубине 2...3 м укладки дрен.

Применение дренажных укладчиков с перечисленными двухконтурными лазерными системами автоматического управления глубиной копания позволяет укладывать дрены с требуемой точностью и обеспечить нормальный режим работы автоматики в различных условиях эксплуатации.

В последнее время все большее распространение в России находят дренажные укладчики, оснащенные спутниковой навигационной системой управления GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), Galileo (Евросоюз), Compass (Китай) для укладки дренажа и поддер-

жания курса движения машины (агронавигатор, автопилот, курсоуказатель). Базой отсчета служит положение группы спутников на орбите. Наземный приемник передает спутникам и принимает от них радиосигналы, которые обрабатываются специальным программным обеспечением по точному времени. Базовая станция, взаимодействующая по радиосигналам со спутниками и приемником, обеспечивает повышение точности измерений. В результате приемник вырабатывает электрические сигналы о своем высотном и плановом положениях, которые поступают на пульт управления.

Приемник, пульт управления и электрогидроблок спутниковой навигационной системы устанавливают на дренажном укладчике по аналогии с размещением этих составных частей в лазерной системе управления. Перед укладкой дрены в программное обеспечение с заданным шагом вносят высотные отметки проектного профиля дрены.

В процессе укладки дрены пульт управления выполняет функцию сравнения между текущим положением приемника и проектными данными. При появлении сигнала рассогласования между ними пульт выдает команду управления на электрогидроблок и исполнительный орган, перемещающий рабочий орган с приемником в сторону устранения сигнала рассогласования. Таким образом, навигационные системы, как и лазерные системы, обеспечивают автоматическое удержание рабочего органа дренажного укладчика на проектной глубине копания с требуемой точностью укладки дренажа.

**Выводы.** Исследованы особенности и проведены испытания траншейного, узкотраншейного и бестраншейного дренажных укладчиков с различными двухконтурными лазерными системами автоматического управления глубиной копания траншеи при укладке дренажа на опытных полигонах. Представлены преимущества автоматизированных машин. Определены технические характеристики лазерных систем управления. Точность укладки дрен составила  $\pm 3$  см, что соответствует предъявляемым мелиоративным требованиям. Наряду с лазерными системами управления могут также успешно применяться на представленных конструкциях отечественных дренажных укладчиков спутниковые навигационные системы управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов А.Н. Дренажные укладчики с системами управления и строительство дренажа. М.: МЭСХ, 2023. 90 с.
2. Дренажный укладчик: пат. 2810925С1 Рос. Федерация / Ефремов А.Н., Глухарев В.И., Фирсов В.В., Соболев А.А., Буравцев В.Н.; заявл. 02.03.2023; опубл. 01.09.2024.
3. Ефремов А.Н., Лактюшкин В.Н. Дренажный укладчик. Уведомление о приеме и регистрации заявки за № 2025117881 от 27.06.2025, Российская Федерация.

#### REFERENCES

1. Efremov A.N. Drenoukladchiki s sistemami upravleniya i stroitel'stvo drenazha. M.: MESX, 2023. 90 s.
2. Drenoukladchik: pat. 2810925S1 Ros. Federaciya / Efremov A.N., Glukharev V.I., Firsov V.V., Sobolev A.A., Buravcev V.N.; zayavl. 02.03.2023; opubl. 01.09.2024.
3. Efremov A.N., Laktyushkin V.N. Drenoukladchik. Zayavka № 2025117881 ot 27.06.2025, Ros. Federaciya.

**Ефремов Алексей Николаевич**, канд. техн. наук, [icluch@yandex.ru](mailto:icluch@yandex.ru) (г. Москва).