

**СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА**

doi: 10.51639/2713-0576\_2022\_2\_3\_15

УДК 69.002 (075.8)

ГРНТИ 67.17.15

**Обзор современных систем автоматизации работы строительных экскаваторов**<sup>1</sup> Рыбникова И. А., <sup>2\*</sup> Рыбников А. М., <sup>2</sup> Цаллагов С. Ч.<sup>1</sup> НФ БГТУ им. В. Г. Шухова, 353919, Россия, Новороссийск, Мысхакское шоссе 75<sup>2</sup> ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 353918, Россия, Новороссийск, пр. Ленина 93email: \* [a.ribnikov@novoroskhp.ru](mailto:a.ribnikov@novoroskhp.ru), [rybnikova-i-a@nb-bstu.ru](mailto:rybnikova-i-a@nb-bstu.ru), [s.tsallagov@novoroskhp.ru](mailto:s.tsallagov@novoroskhp.ru)

Рассмотрены основные виды строительных экскаваторов и их сменного рабочего оборудования, выполняющих земляные работы. Приведены схемы устройств и принципы работы автоматизации работы таких машин. Так у одноковшовых экскаваторов используется система микропроцессоров и лазерных информационно-измерительных устройств для управления процессами копания. В одном случае на дне траншеи устанавливается лазерный излучатель с направлением пучка лазера вдоль оси траншеи с проектным углом наклона, а на ковше экскаватора крепится приёмник этого лазерного излучения. В другом случае используется автономно-копирная лазерная система управления рабочим процессом. Показана автоматизированная система управления рабочим органом экскаватора, на котором закреплены датчики определения положения ковша, рукояти и стрелы. Схематично изложен принцип автоматизированной работы многоковшовых экскаваторов с использованием проволочного копирного каната вдоль трассы траншеи по которому движется экскаватор, оснащённый датчиками электромагнитного контактного устройства.

*Ключевые слова:* экскаватор, рабочий орган, автоматизация работы, лазерный излучатель, приёмник лазерного излучателя, копирная система, бортовой микрокомпьютер.

Земляные работы – это один из самых распространённых и трудоёмких процессов в строительстве. Стоимость производства земляных работ значительна и в среднем составляет 10...15 % полной стоимости работ [1]. К основным видам земляных работ в промышленном и гражданском строительстве относится рытьё траншей и котлованов, обратная их засыпка после возведения фундаментов и укладки коммуникаций. До 95 % общего объёма земляных работ этих видов осуществляют механическим способом, при котором применяют в основном строительные экскаваторы одноковшовые и многоковшовые (роторные).

Экскаваторы представляют собой самоходные землеройные машины, предназначенные для копания и перемещения грунта. Различают одноковшовые экскаваторы периодического (циклического) действия с основным рабочим органом в виде ковша определённой вместимости и экскаваторы непрерывного действия (траншейные) с многоковшовыми или скребковыми (фрезерными) рабочими органами. Одноковшовые экскаваторы осуществляют работу отдельными многократно повторяющимися циклами, в течение которых операции копания и перемещения грунта выполняются раздельно и последовательно. В процессе работы машина периодически перемещается на небольшие расстояния для копания очередных объёмов грунта. Экскаваторы непрерывного действия копание и перемещение грунта осуществляют одновременно и непрерывно.

Одноковшовые строительные экскаваторы выполняют до 38 % земляных работ в строительстве с основными ковшами вместимостью 0,25...2,5 м<sup>3</sup>, оснащаемые различными видами сменного рабочего оборудования: прямая и обратная лопаты, драглайн, кран и грейфер (рис. 1). Рабочий цикл одноковшового экскаватора при разработке грунтов состоит

из следующих последовательно выполняемых операций: копание грунта, (заполнение ковша грунтом), подъём ковша с грунтом из забоя, поворот ковша к месту укладки разгрузки, разгрузка грунта из ковша в отвал или в транспортные средства, поворот порожнего ковша к забою и опускание его в исходное положение для следующей операции [2]. В процессе работы отдельные операции цикла можно совмещать. Например, подъём или опускание ковша – с поворотом его в забой, что сокращает продолжительность цикла.

Экскаватор с прямой лопатой (рис. 1а) разрабатывает грунт в забое, расположенном выше уровня стоянки машины. Наполнение ковша 3 происходит при подъёме его полиспастом подъёма ковша 2 и выдвижения рукояти 4 в сторону забоя напорным механизмом 5, регулирующим толщину срезаемого слоя. Выгрузка ковша производится с помощью открывания его днища.

Экскаватор с обратной лопатой (рис. 1б) предназначен для рытья траншей и небольших котлованов, расположенных ниже уровня его стоянки. Наполнение ковша 8, врезаемого в грунт под действием веса рабочего оборудования, происходит при подтягивании его к экскаватору тяговым полиспастом 9 и одновременном ослаблении натяжении подъёмного полиспаста 2. Выгрузку грунта из ковша осуществляют поворотом рукояти 4 от забоя при ослаблении тягового полиспаста 9 и подъёме рабочего оборудования подъёмным полиспастом 2.

Экскаватор с драглайном (рис. 1в) разрабатывает грунт ниже уровня своей стоянки и применяется для рытья котлованов, траншей, ёмкостей для водоёмов, а также для разработки различных выемок под водой. Наполнение ковша 12, прижимаемого к забою собственным весом, происходит при подтягивании его к экскаватору тяговым канатом 14. Выгрузку поднятого на необходимую высоту ковша осуществляют путём его поворота при ослабленном натяжении тягового 14 и опрокидного 13 канатов.

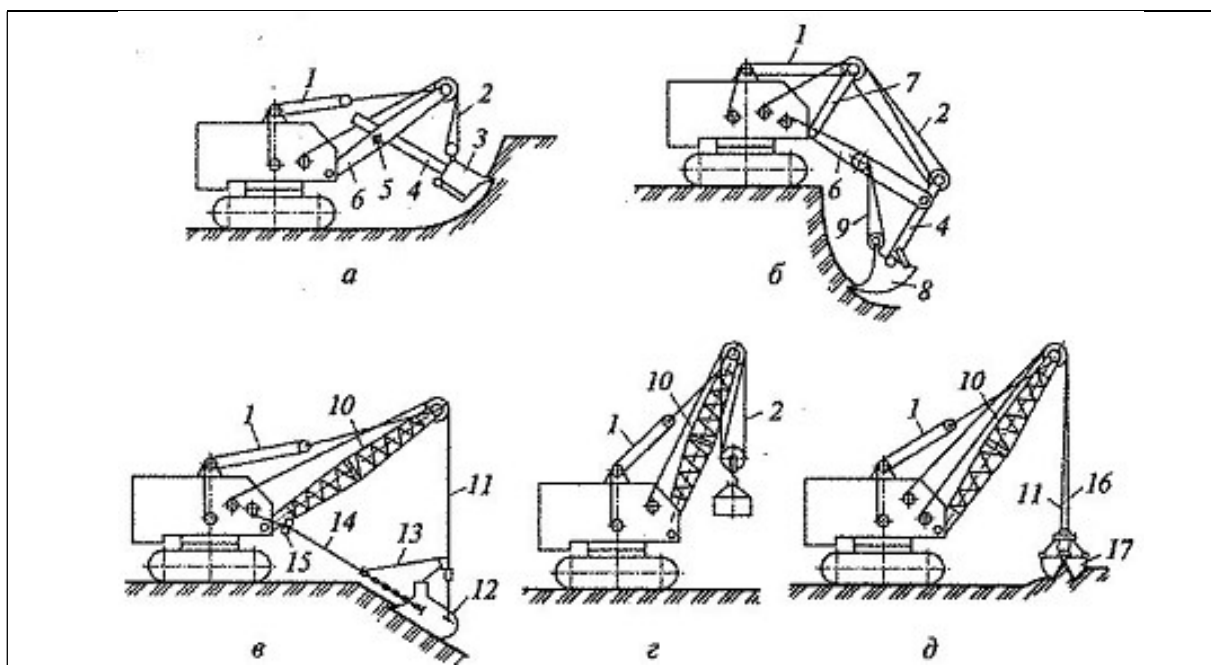


Рис. 1. Основные виды сменного рабочего оборудования оборудования строительных экскаваторов с механическим приводом: а – прямая лопата; б – обратная лопата; в – драглайн; г – крановое оборудование; д – грейферное оборудование: 1 – полиспаст подъёма стрелы; 2 – полиспаст подъёма ковша (или груза); 3,8 – ковш; 4 – рукоять; 5 – напорный механизм; 6 – стрела; 7 – стойка; 9 – полиспаст тяговый; 10 – решётчатая стрела; 11 – подъёмный канат; 12 – ковш совкового типа; 13 – разгрузочный (опрокидной) канат; 14 – тяговый канат; 15 – механизм наводки тягового каната; 16 – замыкающий канат; 17 – грейферный двухчелюстной ковш

Экскаватор с крановым оборудованием (рис. 1г) используют на различных монтажных и погрузочно-разгрузочных работах. Он может быть использован для подвески трамбующей свободно падающей плиты, с помощью которой осуществляется уплотнение слабых рыхлых грунтов.

Экскаватор с грейферным оборудованием (рис. 1д) применяют при погрузке и выгрузке зернистых и мелкокусковых материалов, очистке траншей и котлованов от обрушившегося грунта, для рытья колодцев и узких глубоких котлованов (в том числе в водонасыщенных грунтах), а также траншей для возведение заглубленных сооружений способом «стена в грунте» в лёгких грунтах. Наполнение двухчелюстного грейферного ковша *17* происходит в результате смыкания его челюстей при натяжении замыкающего *16* и ослаблении подъёмного *11* канатов. Разгрузку ковша осуществляют при ослаблении замыкающего каната *16*.

### Автоматизация работ одноковшовых экскаваторов

При ручном управлении работы одноковшовыми экскаваторами на зачистку и планировку дна котлована (траншеи) после копания остаётся слой грунта до 20 см. Поэтому внедрение на экскаваторах микропроцессоров и лазерных информационно-измерительных устройств для управления процессами копания позволяет повысить точность и качество выполняемых работ, снизить трудозатраты и численность обслуживающего персонала. В одноковшовых экскаваторах используют различные виды таких устройств.

В одном случае при автоматизации работы экскаватора *1* с обратной лопатой на рытье траншей приёмник лазерного излучения *3* крепится на ковше экскаватора (рис. 2). Лазерный излучатель *2* устанавливается на дне траншеи в начале её разработки с направлением пучка лазера вдоль оси траншеи с проектным углом наклона [3]. В кабине машиниста расположено информационно-индикаторное устройство, на экране которого он по положению (перемещению) лазерного пятна определяет величину и направление отклонения ковша от заданных отметок и устанавливает ковш в требуемое положение.

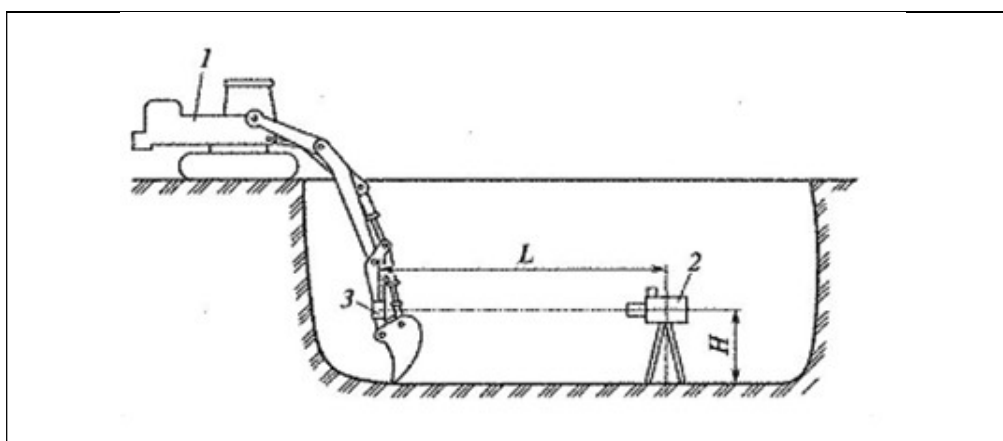


Рис. 2. Схема лазерной системы автоматизации контроля экскаватора

Другая автономно-копирная система управления одноковшовым экскаватором *4* по лучу лазера *2* состоит из лазерного излучателя *1*, информационно-измерительного устройства с датчиками  $D_1$ – $D_5$ , установленными в шарнирах крепления рабочего оборудования, механизмом перемещения фотоприёмного устройства *3*, а также микропроцессорного устройства (МПК) *5*, реализующего заданный закон управления рабочим процессом машины (рис. 3).

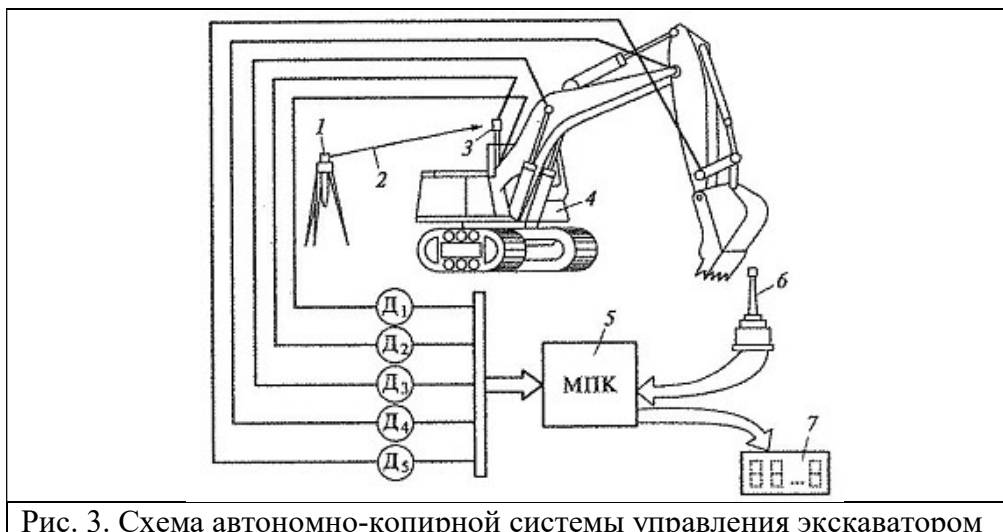


Рис. 3. Схема автономно-копирной системы управления экскаватором

Во время работы микропроцессорное устройство по сигналам датчиков вырабатывает управляющие сигналы, поступающие на исполнительные устройства, то есть на гидроцилиндры положения стрелы, рукоятки ковша для поддержания заданной глубины копания и требуемого угла резания. Управление работой машины осуществляют рукояткой 6, а рабочие параметры высвечиваются на дисплее 7 [4]. При этой системе копание производят вручную по индикатору глубины копания, а на зачистных операциях включают автоматическую систему управления, обеспечивающую заданную глубину копания, прямолинейность траектории движения режущей кромки ковша и заданный угол резания.

Наибольшую эффективность использования экскаваторов с лазерными системами даёт применение бортовых микрокомпьютеров. В память компьютера вносят все необходимые данные, такие как геометрические размеры котлована, углы откосов, ёмкость, угол поворота, высота подъёма ковша и др. Тогда во время работы в компьютер автоматически поступают сигналы с фотоприёмника, а затем – на исполнительные устройства для «моментальной» корректировки выполняемого процесса по отрывке траншеи или котлована.

Для гидравлических одноковшовых экскаваторов, выполняющих длительные работы с постоянно повторяющимися циклами, разработана компьютерная система управления погрузочными работами [5]. Наиболее эффективно эта система используется при отрывке траншей, планировке откосов котлованов, погрузке разрабатываемых материалов в транспортные средства. Она позволяет частично освободить машиниста от ручного управления при многократных повторениях выполняемых операций.

Управление работающим в котловане экскаватором, оборудованном компьютерной системой, включает следующее. В начале машинист в ручном режиме управления выполняет все операции рабочего цикла экскаватор:

- заполнение ковша грунтом и его перемещение в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- остановка над автосамосвалом;
- разгрузка и возвращение в первоначальное положение.

Запоминающее устройство компьютера фиксирует поступающую от датчиков информацию о проделанной траектории и скоростях движения ковша, о расположении автосамосвала и возможных помехах на пути следования ковша, например, имеющийся задний борт самосвала. В результате обработки полученных данных компьютер устанавливает оптимальную траекторию и максимально возможные скорости перемещения ковша независимо от квалификации работающего машиниста и эргономических показателей.

Разработанную компьютером программу оптимального перемещения ковша приводит в действие система автоматики после включения соответствующей кнопки на пульте управления. Работа машиниста в ручном режиме остаётся только при заполнении ковша грунтом. При перемещении экскаватора или погрузке во вновь прибывший автосамосвал необходимо опять выполнить один цикл в ручном режиме, заново «обучая» компьютер. С помощью переключателя машинист при необходимости в любой момент может перейти на ручное управление. Благодаря применению компьютерной системы управления не только повышается, но и стабилизируется максимально возможная производительность экскаватора. С целью повышения эффективности использования гидравлических одноковшовых экскаваторов при выполнении планировочных и зачистных работ на них устанавливается автоматизированная система управления рабочим органом [6]. Эта система (рис. 4) выполнена с однопроводной управляющей связью и состоит из датчика 4 положения ковша, датчиков 7 и 12 положения рукояти и стрелы, каната 8 управляющей связи, рычага 13 и аппаратуры управления 14 гидрораспределителем ковша.

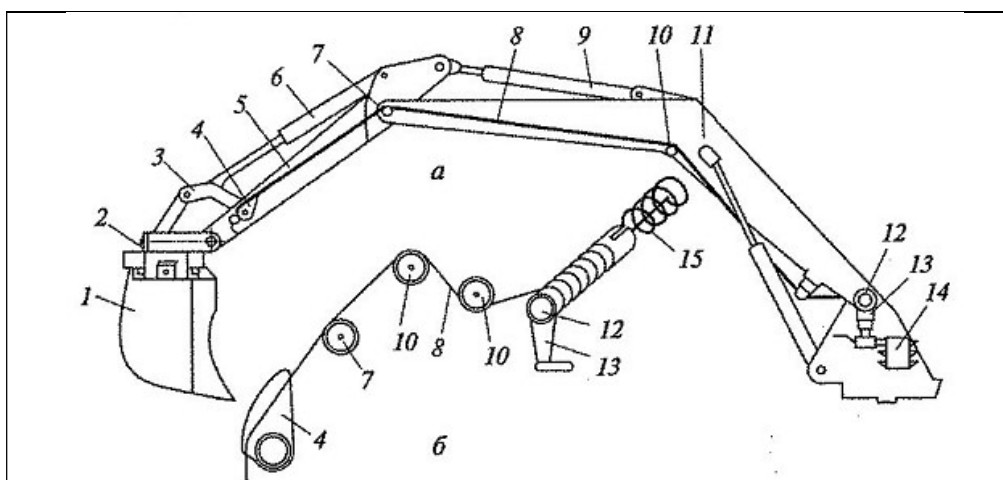


Рис. 4. Схема автоматизированной системы управления рабочим органом экскаватора: а – общий вид; б – запасовка каната управляющей связи

Датчик кулачкового типа 4 закреплён на оси рычага 3 шестизвенного механизма, управляющего положением ковша 1 при работе. Датчики в виде канатных блоков свободно установлены на осях поворота рукояти 5 и стрелы 11. Канат проходит по блоку-датчику 7, по направляющим и поддерживающим блокам 10 и крепится одним концом на кулачке 4, а другим – на блоке датчика 12. Для натяжения каната используют пружину кручения 15, закреплённую одним концом на пальце оси стрелы, а другим – соединённую с блоком датчика 12. Рычаг управления связи 13 через фрикционный механизм также соединён с датчиком 12, выполняющим одновременно и функцию суммирующего устройства, а конец рычага при работе экскаватора взаимодействует с толкателем системы управления. Управление поворотом ковша из плоскости копания осуществляют гидроцилиндром 2.

Работы по планировке земляных поверхностей включают установку ковша на грунт плоской частью передней стенки и перевода стрелы в плавающее положение с одновременным включением фрикционного механизма. При включении в работу гидроцилиндра 9 рукоять 5 поворачивается и изменяет угловое положение ковша относительно планируемой поверхности. При этом посредством каната 8 (при включённом фрикционном механизме) выполняется поворот рычага 13 и перемещение толкателя системы управления. Последний включает гидрораспределитель ковша, и происходит перемещение штока гидроцилиндра 6. Ковш возвращается в первоначальное угловое относительно планируемой поверхности положение.

При перемещении штока рычаг 3 поворачивается вместе с датчиком кулачкового типа и вызывает противоположное направление движения каната, датчика 12 и рычага. После этого гидрораспределитель ковша закрывается. Поворот датчика 12 и рычага, а также натяжение каната происходят под действием пружины кручения, что исключает возможность проскальзывания каната в направляющих ручьях блоков датчика 12. В результате при изменении положения рукояти следящая система позволяет сохранить первоначальное положение режущей кромки ковша.

Траншейные экскаваторы применяют на строительстве линейных подземных коммуникаций открытым способом для рытья траншей прямоугольного и трапецеидального профиля под газо-, нефте-, водо и продуктопроводы, канализационные и теплофикационные системы, кабельные линии связи и электроснабжения, а также для рытья траншей под протяжённые ленточные фундаменты зданий и сооружений. Это самоходные землеройные машины непрерывного действия с многоковшовым или скребковым рабочим органом, которые при своём поступательном перемещении разрабатывают сзади себя за один проход траншею определённой глубины, ширины и профиля с одновременной транспортировкой грунта в сторону от траншеи.

Производительность траншейных экскаваторов, постоянно передвигающихся во время работы и отделяющих грунт от массива с помощью группы непрерывно движущихся по замкнутому контуру ковшей или скребков, в 2...2,5 раза выше, чем у одноковшовых экскаваторов, при более высоком качестве работ и меньших энергозатратах на 1 м<sup>3</sup> разработанного грунта, в том числе мёрзлого. Главным параметром таких экскаваторов является номинальная глубина отрываемой траншеи.

Каждый траншейный экскаватор состоит из трёх основных частей: базового пневмоколёсного или гусеничного тягача, обеспечивающего поступательное движение (подачу) машины; рабочего оборудования, включающего рабочий орган для копания траншей и поперечное (к продольной оси движения машины) отвальное устройство для эвакуации разработанного грунта в отвал или транспортные средства; вспомогательного оборудования для подъёма-опускания рабочего органа и отвального устройства. В качестве примера рассмотрим типовую конструкцию роторного траншейного экскаватора с механической трансмиссией, предназначенного для рытья траншей глубиной до 2,0 м и шириной 1,2 м (рис. 5).

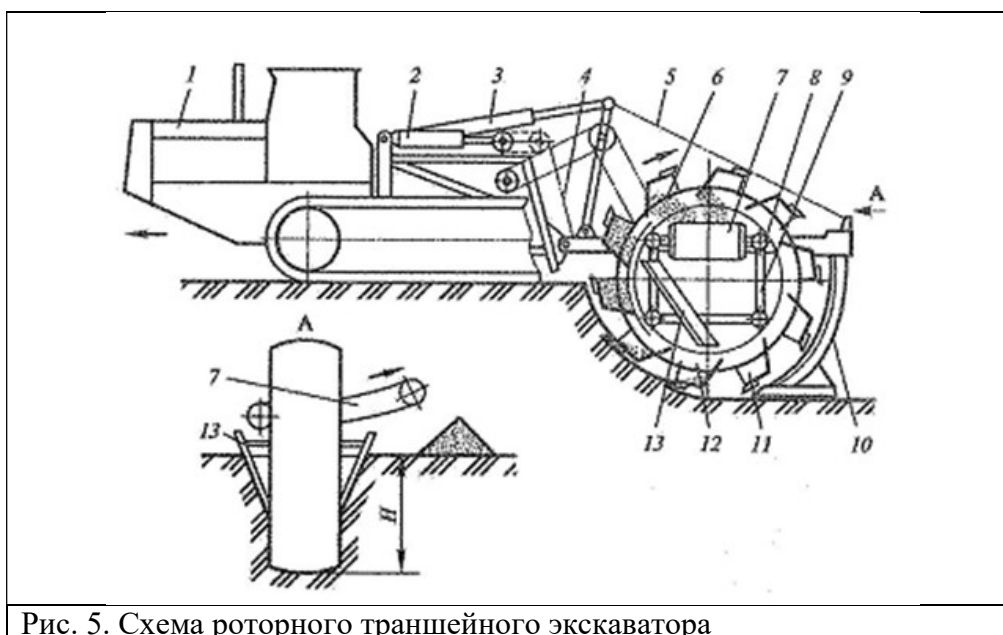


Рис. 5. Схема роторного траншейного экскаватора

Экскаватор состоит из гусеничного тягача 1 и навесного рабочего органа для рытья траншей и отброса грунта 6, шарнирно соединённых между собой в вертикальной плоскости. Рабочий орган машины – опирающийся на четыре пары роликов 8 на квадратной раме 9 жёсткий ротор 12 с ковшами 11, внутри которого помещён поперечный двухсекционный ленточный конвейер 7, состоящий из горизонтальной и наклонной (откидной) секций. Позади ротора установлены зачистной башмак 10 и боковые ножевые откосники 13 для зачистки и сглаживания дна и боковых стенок траншей [7].

На тягаче установлена дополнительная рама с размещением на ней механизмов привода и подъёма-опускания рабочего органа. Рама имеет две наклонные направляющие, по которым с помощью пары гидроцилиндров 2 и двух пластинчатых цепей 4 гидравлического подъёмного механизма перемещаются ползуны переднего конца рамы рабочего органа при переводе его из транспортного положения в рабочее и наоборот. Подъём и опускание задней части рабочего органа осуществляют парой гидроцилиндров 3, штоки которых шарнирно прикреплены к верхней части стоек, связанных с задним концом рамы цепями 5.

Автоматизация работы многоковшовых экскаваторов – это поддержание заданного рабочего положения рабочего органа и оптимизация режима копания. Регулирование глубины копания с заданным углом наклона рабочего органа осуществляют по проволочному канату малого диаметра 1, который натягивают по нивелиру вдоль трассы траншеи параллельно её будущему дну (рис. 6).

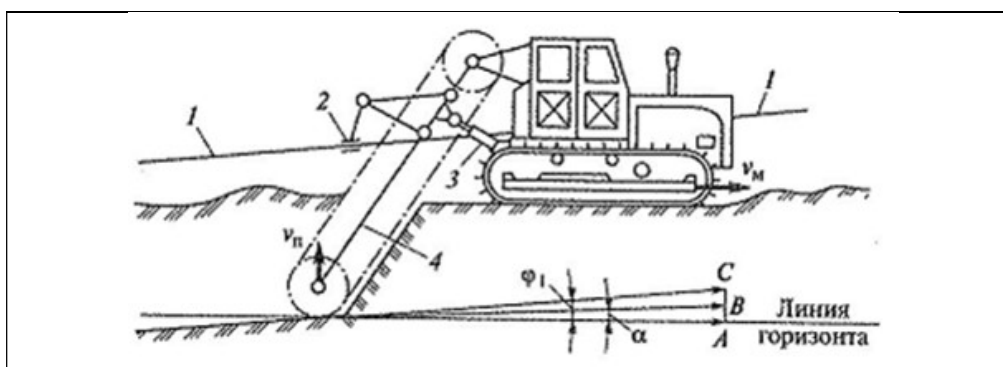


Рис. 6. Схема системы автоматического управления глубиной копания траншейного экскаватора

При движении экскаватора во время работы вдоль копринного каната 1 одновременно перемещается электромагнитное контактное устройство 2. Оно состоит из двух датчиков, между которыми проходит канат, и установлено на кронштейне, закреплённом на раме рабочего органа 4. Если рабочий орган экскаватора движется параллельно канату и последний не касается ни одного из датчиков, дно образуемой траншеи находится на проектной отметке [8].

Изменение заданного угла наклона  $\alpha$  на  $\varphi_1$  ведёт к изменению положения рабочего органа и замыканию контактов одного из датчиков слежения при соприкосновении с копринным канатом. Преобразованный и усиленный сигнал поступает на исполнительный механизм, приводящий в действие гидроцилиндр 3. При этом с помощью микропроцессора производится подъём или опускание рабочего органа до требуемой отметки. В то же время следует отметить, что изменение положения рассматриваемого рабочего органа по высоте осуществляется прерывисто, то есть неравномерно. В качестве базовой линии в процессе отрывки траншей могут использоваться и лазерные установки.

В роторных экскаваторах производительность обусловлена прочностью грунта и скоростью передвижения машины. При этом значительные колебания загрузки основных механизмов и снижение производительности экскаватора зависят от категории грунта, изменения сопротивления копанию, неровностей почвы и состояния режущего инструмента.

Обеспечение максимальной производительности может быть достигнуто путём полной загрузки двигателя, что возможно только при наличии системы автоматического управления, регулирования и контроля рабочего процесса машины.

### Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

### Список литературы

1. Доценко А.И., Дронов В.Г. Строительные машины: учебное пособие. – М.: ИНФА-М, 2012. – 533 с.
2. Добронравов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматизации: учебник для строит. вузов – М.: Высшая школа, 2001. – 575 с.
3. Тихонов Ю.Б. Системы автоматики дорожных и строительных машин: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2006. – 127 с.
4. Гордеев А.С. Основы автоматики: учебное пособие. – Мичуринск: МичГАУ, 2006. – 220 с.
5. Сафиуллин Р.К. Основы автоматики и автоматизация процессов: учебное пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. арх.-строит. ун-та, 2013. – 187 с.
6. Гужавинов А.Я, Капаницкий В.И., Плонилов Н.М. Механизация и автоматизация производства систем ТГВ: учебное пособие. – Н. Новгород: Нижегородский гос. арх.-строит. ун-т, 2006. – 111 с.
7. Аблязов, К.А., Дубровин Р.Г., Рыбников А.М., Рыбникова И.А. Основы автоматизации Грузоподъёмных, строительных, дорожных машин и оборудования: учебное пособие. – Новороссийск: РИО ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2022. – 112 с.
8. Муромцев Ю.Л., Муромцев Д.Ю. Основы автоматики и системы автоматического управления. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – Ч.1. – 96 с.

### Overview of modern automation systems for work construction excavators

<sup>1</sup> Rybnikova I. A., <sup>2</sup> Rybnikov A. M., <sup>2</sup> Tsallagov S. Ch.

<sup>1</sup> *NF BSTU named after V.G. Shukhov, 353919, Russia, Novorossiysk, Myshakskoe highway 75*

<sup>2</sup> *Adm. F.F. Ushakov State Medical University, 93 Lenin Ave., Novorossiysk, 353918*

The main types of construction excavators and their replaceable working equipment performing earthworks are considered. The diagrams of devices and principles of operation of automation of such machines are given. Thus, single-bucket excavators use a system of microprocessors and laser information-measuring devices to control the digging processes. In one case, a laser emitter is installed at the bottom of the trench with the direction of the laser beam along the axis of the trench with the design angle of inclination, and a receiver of this laser radiation is mounted on the bucket of the excavator. In another case, an autonomous copier laser process control system is used. An automated control system of the excavator's working body is shown, on which sensors for determining the position of the bucket, handle and boom are fixed. The principle of automated operation of multi-shaft excavators using a wire carbon rope along the trench route along which the excavator moves is schematically outlined.

*Keywords:* excavator, working body, automation of work, laser emitter, laser emitter receiver, copier system, on-board microcomputer.