

# **ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ**

Аппаратно-программного комплекса системы  
автоматизированного управления землеройными машинами.

«Экскаватор».

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АПК – аппаратно-программный комплекс;

ГСК – глобальная система координат;

ГСК-2011 - государственная геодезическая система координат 2011года.

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

МСК – местная система координат;

ОС – операционная система;

ОПО – общее программное обеспечение;

ПО – программное обеспечение;

САУ – система автоматизированного управления;

СКО – среднеквадратическое отклонение;

СПО – специализированное программное обеспечение;

СРНС – спутниковая радионавигационная система;

УКВ – ультракороткие волны;

ЦМП – с цифровая модель поверхности;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

ЭД – эксплуатационная документация;

GSM - Глобальная система мобильной связи. Стандарт, разработанный Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI).

NTRIP – Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (в переводе с англ. — «сетевой транспорт передачи сообщения RTCM посредством протокола Интернет»)

RTK – Real Time Kinematic (в переводе с англ. — «кинематика реального времени»).

WGS-84 – World Geodetic system 1984. Всемирная система геодезических параметров Земли 1984 года.

## **1. ЦЕЛЕВОЕ НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ**

1.1. Повышение эффективности работы землеройной машины типа экскаватор одноковшовый (далее экскаватор) за счет уменьшения величины отклонения от проектных отметок формируемой поверхности при выемке или распределении грунта и других материалов с помощью рабочего органа.

1.2. Снижение трудоемкости работы оператора экскаватора за счет отсутствия необходимости постоянного визуального контроля положения ковша относительно проектных отметок в ручном режиме, и ручного управления положением режущей кромки ковша в автоматическом режиме, а также за счет индикации в реальном масштабе времени режимов работы системы и разницы между текущей сформированной поверхностью и проектной цифровой моделью поверхности (ЦМП).

1.3. Повышение безопасности работы оператора за счёт непрерывного контроля положения элементов рабочего органа экскаватора, то есть стрелы, рукояти и ковша, и выдачей своевременных предупреждений оператору в случаях, если габарит любого из элементов пересекается с границами рабочей зоны экскаватора (забоя).

1.4. САУ предназначена для автоматического управления положением по высоте режущей кромки ковша экскаватора и индикации разницы между оцененным положением и ЦМП с целью сокращения разницы между оценкой реального положения в пространстве режущей кромки и заранее загруженной в систему виртуальной цифровой моделью формируемой поверхности.

1.5. Неотъемлемой функцией системы является обеспечение обмена между проектируемой САУ и внешним специализированным ПО цифровой информацией о проектных требованиях к геометрическим характеристикам целевой поверхности, которую требуется сформировать ковшом экскаватора за счет выемки и распределения грунта и других материалов.

## **2. ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ**

2.1 Объектом автоматизации является рабочее оборудование землеройной машины типа экскаватор: в процессе работы системы автоматически вычисляется положение в пространстве режущей кромки ковша, и сравнивается с цифровой моделью формируемой поверхности. При необходимости система посредством управляющего воздействия на органы управления элементами рабочего оборудования экскаватора (гидравлическую систему) автоматически корректирует положение режущей кромки ковша по высоте, так, чтобы оценка положения режущей кромки совпадала с цифровой моделью поверхности. В системе предусмотрен так же

режим, когда управляющее воздействие формируется вручную оператором в соответствии с вычисленной разностью между реальным положением режущей кромки ковша и ЦМП.

2.2 Здесь и далее термины, определения и характеристики экскаваторов и рабочего оборудования по ГОСТ 30067-93, ГОСТ 28633-90 и ГОСТ 28632-90 соответственно.

2.3 Характерные размеры и расчет вместимости ковшей по ГОСТ 29290-92 и ГОСТ 29291-92.

2.5 Методы определения размеров машин с рабочим оборудованием по ГОСТ 27256-87.

2.4 Экскаватор: Самоходная землеройная машина на гусеничном, колесном или шагающем ходу, имеющая верхнюю часть, способную поворачиваться на 360°, со смонтированным рабочим оборудованием, предназначенным главным образом для копания с помощью ковша без перемещения ходовой части в течение рабочего цикла (ГОСТ Р ИСО 6165).

2.5 Одноковшовые экскаваторы относятся к машинам циклического действия. Рабочий процесс включает операции набора грунта, поворота груженого ковша, к месту выгрузки, выгрузки грунта в транспортное средство или в отвал и установки ковша и исходное положение. Совокупность указанных операций - рабочий цикл.

2.6 Экскаваторы одноковшовые могут различаться:

- в зависимости от исполнения рабочего оборудования:
  - экскаваторы с гибкой подвеской рабочего оборудования,
  - экскаваторы с жесткой подвеской рабочего оборудования;
- по направлению зуба ковша различаются
  - с прямой лопатой,
  - с обратной лопатой;
- по повороту рабочего оборудования относительно опорной поверхности:
  - полноповоротные,
  - неполноповоротные;
- по типу шасси различаются следующие одноковшовые экскаваторы:
  - навешиваемые на тракторы,
  - на автомобильном шасси,
  - пневмоколесные,
  - гусеничные,
  - шагающие,
  - железнодорожные,
  - плавающие.

2.7 Конструкция большинства экскаваторов предусматривает возможность использования различных видов сменного рабочего оборудования и рабочих органов, в том числе обратной лопаты с рукоятями различной длины, а также оборудования прямого копания, грейферного оборудования, гидромолота, гидравлических ножниц, измельчителя бетона и пр.

2.8 К сменным рабочим органам обратной лопаты относятся ковши различной вместимости и назначения.

Обратная лопата – основной вид рабочего оборудования экскаватора – предназначена для выполнения широкого круга землеройных погрузочных и других работ. Обратная лопата состоит из стрелы 1, рукояти 3, сменного рабочего органа (ковша) 6, тяги и рычагов 5, гидроцилиндров подъема стрелы 7, гидроцилиндра рукояти 2, гидроцилиндра ковша 4 (рис. 1), а также системы трубопроводов и рукавов высокого давления, связывающих гидроцилиндры с гидросистемой экскаватора.

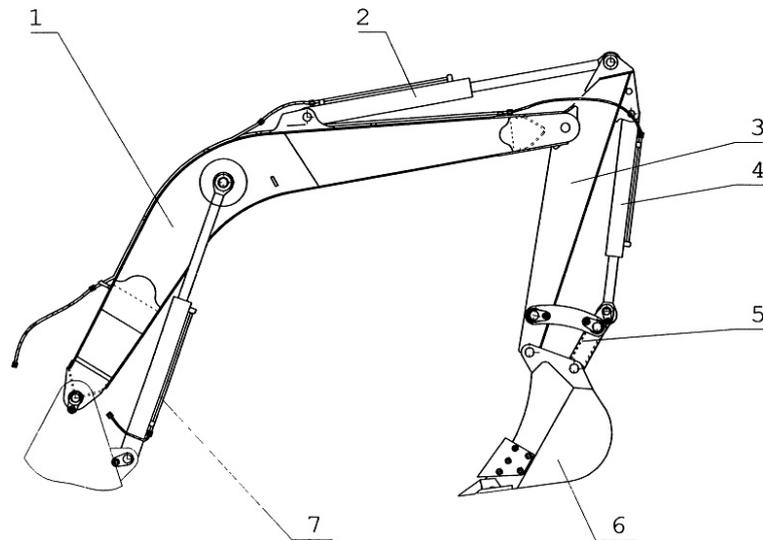


Рис 1. Рабочее оборудование обратная лопата

2.9 Основным считается ковш, которым экскаватор может разрабатывать грунт IV категории на максимальных линейных рабочих параметрах. Вместимость основных ковшей экскаваторов составляет для размерных групп:

- 2-й – 0,25...0,28 м<sup>3</sup>;
- 3-й – 0,40...0,65 м<sup>3</sup>;
- 4-й – 0,65...1,00 м<sup>3</sup>;
- 5-й – 1,00...1,60 м<sup>3</sup>;
- 6-й – 1,60...2,50 м<sup>3</sup>;
- 7-й – 2,50...4,00 м<sup>3</sup>.

2.10 Системой могут оснащаться одноковшовые полноповоротные и неполноповоротные экскаваторы с нетелескопическими стрелой и рукоятью, обратной лопатой как с основными ковшами, так и планировочными с возможностью вращения вокруг одной, двух или трех осей в точке крепления ковша к рукояти.

2.11 Привод рабочего оборудования современных экскаваторов осуществляется посредством гидравлической системы. На подавляющем большинстве современных экскаваторов привод рабочего оборудования осуществляется посредством гидравлической системы, позволяющей менять свою производительность при постоянных оборотах ДВС за счет управления производительностью насоса через линию обратной связи - (Load Sensing system).

2.12 Управление основным гидрораспределителем экскаваторов может быть:

1. Пилотным. В этом случае для управления основным гидрораспределителем машины применяется дополнительная (пилотная) гидролиния с меньшим давлением.
2. Электрическим. В этом случае для управления основным гидрораспределителем машины применяются электрические соленоиды, активируемые пропорциональным электрическим сигналом, реже вместо соленоидов устанавливают сервомоторы.

Для управления схемами с электроприводами может применяться пропорциональный джойстик, подключаемый непосредственно к соленоидам гидрораспределителя или комбинация, а также контроллер, преобразующий цифровые команды по линии связи, например, CAN в электрические сигналы, подаваемые уже на соленоиды.

2.13 Экскаваторы в основном используют на разработки немерзлых грунтов категории I-IV (ГОСТ 30067-93) а также предварительно разрыхленных скальных и мерзлых грунтов в диапазоне температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .

2.14 Условия окружающей среды O1. (ГОСТ 15150-69).

### **3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ**

3.1 Оценка местоположения и ориентации в пространстве осуществляться для поворотной платформы с последующим пересчетом в область режущей кромки ковша. Аппаратура подсистемы вычисления местоположения и ориентации или её часть (приемная антенна) располагается на противовесе поворотной платформы или на крыше кабины экскаватора, а пересчет в область режущей кромки осуществляется с учетом оценки пространственных углов положения вращающейся платформы, углов наклона ковша, стрелы и рукояти.

3.2 Индикация координат фактического положения ковша, разницы между оценкой фактического положения режущей кромки ковша и математической моделью целевой поверхности осуществляется в локальных прямоугольных системах координат, установленных для ведения государственного кадастра недвижимости, при выполнении геодезических работ с использованием спутниковой геодезической аппаратуры.

3.3 Предусмотрена возможность оснащения аппаратурой АПК САУ «Экскаватор» экскаваторов с любыми типами ковшей.

3.4 Предусмотрены варианты АПК САУ «Экскаватор» для подключения к различным типам гидравлических систем управления рабочим оборудованием экскаватора:

- пилотная;
- электрическая;
- электронная, осуществляющая управление гидравликой рабочего оборудования по цифровой шине CAN.

3.5 АПК САУ «Экскаватор» имеет возможность создавать простые типы поверхностей собственными средствами. По вычисленной позиции режущей кромки ковша и заданным параметрам создать математическую модель целевой поверхности:

- Бесконечная горизонтальная плоскость;
- Бесконечная наклонная плоскость;
- Поверхность дороги по задаваемым параметрам ширины, продольного и поперечного уклонов, протяженности по двум или нескольким точкам, или точке начала и углу управления.

3.6 АПК САУ «Экскаватор» имеет возможность загружать во внутреннюю память системы и выгружать на внешний носитель информацию как о проектных требованиях к геометрическим характеристикам целевой поверхности, так и проекте в целом.

3.7 АПК САУ «Экскаватор» имеет возможность рассчитывать параметры (координаты в любой точке) смещенной в вертикальном направлении на заданную величину текущей поверхности относительно загруженной во внутреннюю память системы или созданной собственными средствами исходной поверхности.

3.8 АПК САУ «Экскаватор» функционирует в как режиме автоматического управления ковшом, так и в режиме, когда оператор управляет работой ковша вручную. При этом в ручном режиме система обеспечивает всю необходимую оператору индикацию о состоянии системы, положении ковша и расстоянии до проектных отметок от текущего положения ковша, то есть должна обеспечивать все функции за исключением собственно автоматического управления ковшом.

3.9 Предусмотрены режимы функционирования АПК САУ «Экскаватор» при автоматическом управлении рабочим инструментом:

- “3D” основной режим: система при полной доступности навигационных измерений по сигналам СРНС вычисляет пространственное положение режущей кромки ковша и управляет положением ковша так, чтобы разница между оценкой положения ковша и ЦМП стремилась к нулю.
- режим “3D” без автоматического управления (вспомогательный режим), при полной доступности навигационных измерений по сигналам СРНС вычисляет пространственное положение режущей кромки ковша, выдает сообщения оператору о расстоянии текущего положение режущей кромки ковша до ЦМП. Оператор управляет рабочим инструментом вручную, так чтобы минимизировать разницу между оценкой положения ковша и ЦМП.
- “2D” основной режим: система при отсутствии функции вычисления местоположения по сигналам СРНСС вычисляет пространственные углы

вращающейся платформы и элементов рабочего инструмента, и автоматически удерживает неизменным горизонтальное положение режущей кромки ковша, при изменении положения других частей рабочего инструмента, производимым оператором вручную.

- “2D” без автоматического управления (вспомогательный режим): система при отсутствии функции вычисления местоположения по сигналам СРНСС вычисляет пространственные углы вращающейся платформы и элементов рабочего инструмента, выдает сообщения оператору о расстоянии текущего положения режущей кромки ковша до ЦМП. Оператор управляет рабочим инструментом вручную, так чтобы минимизировать разницу между оценкой положения ковша и ЦМП.

3.10 АПК САУ «Экскаватор» выдает предупреждения оператору, если в процессе работы элементы рабочего органа экскаватора опасно приближаются или пересекают виртуальные границы зоны работы экскаватора (забоя). Границы забоя могут быть установлены, например, в соответствии с расположенными рядом элементами конструкций сооружений (здания, мосты и т.д.), и защитными зонами коммуникаций как скрытых, так и открытых, пролегающих в зоне работ.

3.11 АПК САУ «Экскаватор» при включенном режиме «безопасного управления» ограничивает возможность перемещения режущей кромки ковша ниже установленной границы зоны работы экскаватора, и расчётного значения верхнего габарита стрелы выше установленной границы зоны работы соответственно в любых режимах функционирования.

3.12 АПК САУ «Экскаватор» обеспечивает передачу по беспроводному интерфейсу на удаленный сервер информации о текущем положении машины, выполненных работах и др.

3.13 АПК САУ «Экскаватор» имеет возможность обеспечения по беспроводному интерфейсу сервисной поддержки пользователей.

3.14 Система обеспечивает точность вычисления положения режущей кромки ковша экскаватора – 10мм (СКО) при максимальной длине стрелы 20м.

3.15 Система должна обеспечивать точность автоматического позиционирования по высоте режущей кромки ковша экскаватора – 10мм (СКО) при максимальной длине стрелы 20м.

3.16 Система обеспечивает требуемые показатели назначения для всех типов Экскаваторов и гидравлических систем управления ковшом, во всем диапазоне допустимых скоростей, в любых погодных условиях, допустимых в климатических зонах работы, для всех типов грунтов.

## 4. СОСТАВ СИСТЕМЫ

4.1 Аппаратно-программный комплекс системы автоматического управления отвалом Экскаватора (далее ПАК САУ «Экскаватор») состоит из следующих подсистем:

- 1) Подсистема вычисления местоположения по сигналам спутниковых радионавигационных систем (СРНС);
- 2) Подсистема приема корректирующих сообщений RTK от базовой станции;
- 3) Подсистема вычисления пространственных углов наклона базовой машины и ковша Экскаватора;
- 4) Подсистема взвешивания материала в ковше;
- 5) Основной контроллер системы;
- 6) Контроллер гидравлического распределителя;
- 7) Панель управления;
- 8) Коммуникационный модуль беспроводной передачи данных (БПД).

4.2. Подсистема вычисления местоположения и ориентации по сигналам спутниковых радионавигационных систем (СРНС), далее «Подсистема СРНС» предназначена для определения координат фазового центра приемной антенны в глобальных системах координат, связанных с Землей, а также ориентацию вращающейся платформы относительно направления на Се-вер (угол Азимута).

4.3. Подсистема приема корректирующих сообщений RTK от базовой станции предназначена для приема коррекций от базовой станции по беспроводным каналам связи, и передачи принятого потока поправок на Подсистему СРНС по внутренним каналам связи.

4.4. Подсистема вычисления пространственных углов наклона базовой машины и элементов рабочего оборудования (стрелы, рукояти, ковша) предназначена для оценки пространственных углов положения ковша и вращающейся платформы относительно пространственных плоскостей: горизонтальной для вращающейся платформы, вертикальной для элементов рабочего оборудования соответственно. Оценка пространственных углов с учетом угла азимута платформы позволяет обеспечить пересчет вычисленных подсистемой СРНС координат фазового центра антенны в область режущей кромки ковша экскаватора;

4.5 Подсистема взвешивания предназначена для оценки массы перемещаемого в ковше материала.

4.6. Основной контроллер системы предназначен для организации взаимодействия между всеми подсистемами ПАК САУ «Экскаватор», первоначальной конфигурации системы в целом и при необходимости проведения вычислений параметров работы системы в реальном масштабе времени (сигнал рассогласования, пересчет позиции СРНС из глобальных координат в локальные СК и тп);

4.7. Контроллер гидравлического распределителя предназначен для формирования управляющего напряжения или тока на электромагнитные катушки соленоидов гидравлических распределителей по сигналам основного контроллера системы;

4.8 Панель управления предназначена для реализации взаимодействия человек-машина для всех групп пользователей системы.

4.8.1. Панель управления представляет собой устройство с сенсорным экраном диагональю 7 – 10 дюймов.

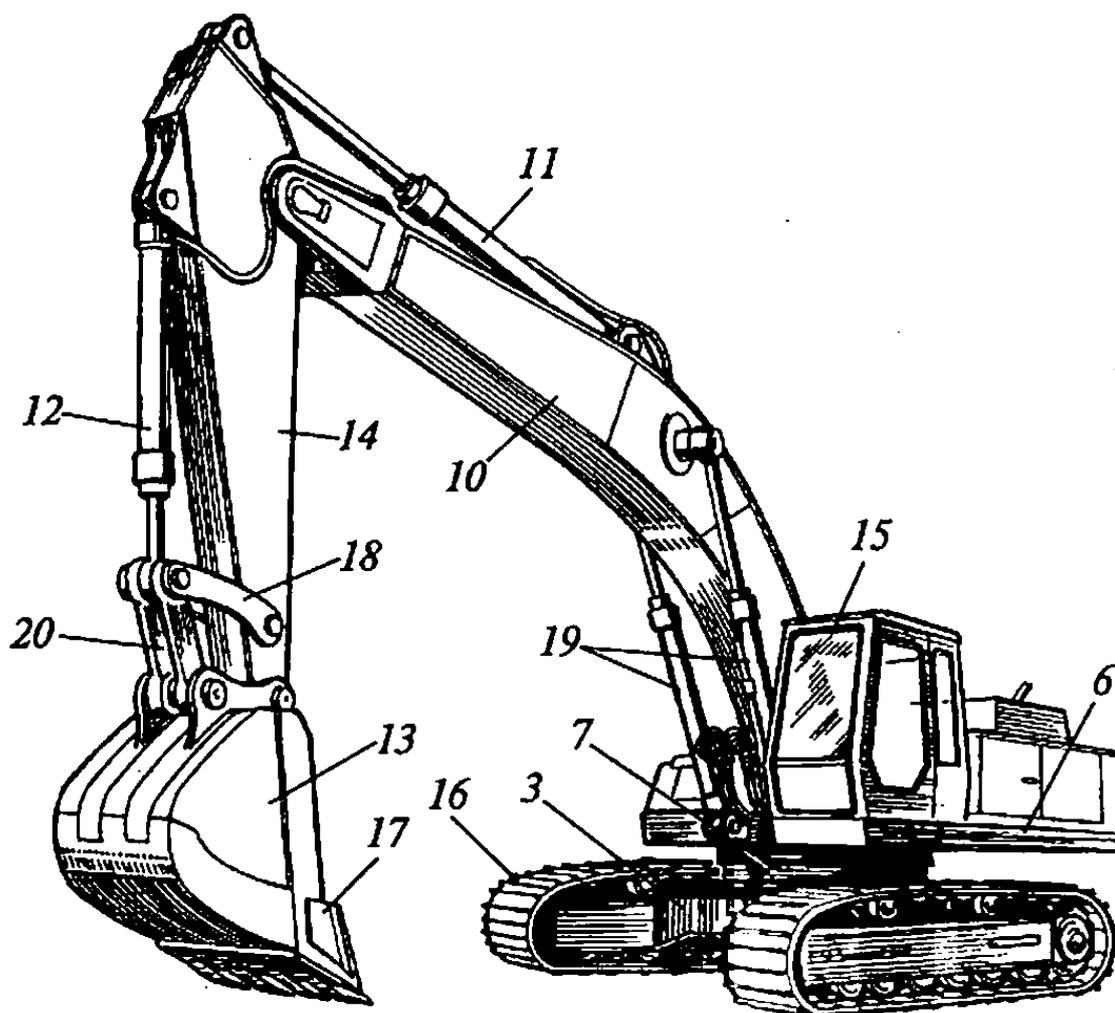
4.8.2. Панель управления работает под управлением операционной системы Андроид или ОС семейства Linux, свободно распространяемой, в том числе для коммерческого использования.

4.9. Коммуникационный модуль беспроводной передачи данных предназначен для обеспечения доступа ПАК САУ «Экскаватор» к сети Интернет посредством беспроводных сетей связи стандарта LTE.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Экскаватор - основной тип землеройных машин, оснащённых ковшом. Основным назначением экскаватора является разработка грунтов и погрузка сыпучих материалов. Главным отличием одноковшового экскаватора от других землеройных машин является то, что работа производится подвижным рабочим органом при неподвижном шасси.

Основное рабочее оборудование экскаватора.



- 3 – Гусеничное шасси.
- 6 – Корпус экскаватора.
- 7 – Шарнир поворота корпуса.
- 10 – Стрела.
- 13 – Ковш.
- 14 – Рукоять.
- 15 – Кабина оператора.
- 18 – Тяга. (Серьга, косточка)
- 20 – Тяга. Часть трапеции ковша.

Так как экскаватор всегда выполняет работы стоя на одном месте и вращаясь на платформе вокруг центральной оси, для позиционирования машины используют два спутниковых приемника. Для минимизации влияния затенения спутников поднятой стрелой, антенны

размещают по возможности дальше от стрелы – на противовесе машины. По сенсорам, расположенным на корпусе, стреле, рукояти и ковше машины определяется угол их наклона относительно калибровочных значений, а зная расстояние между осями вращения элементов можно рассчитать положение режущей кромки ковша относительно оси крепления стрелы к корпусу машины, и далее пересчитать эту отметку на полученную от спутниковой антенны координату.

Существуют как индикаторные системы, в которых оператор может постоянно видеть положение рабочего органа на проекте, так и автоматические, в которых система управляет ковшом и стрелой, удерживая ковш на проектной поверхности, в то время как оператор перемещает рукоять экскаватора.