

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Аппаратно-программного комплекса системы
автоматизированного управления землеройными машинами.

«Бульдозер»

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;

ОКР – опытно-конструкторская работа;

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 – 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»)

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

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

ppm - (от англ. *parts per million*) миллионная доля — единица измерения каких-либо относительных величин, равная 1×10^{-6} от базового показателя.

1. ЦЕЛЕВОЕ НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

1.1 Повышение эффективности работы землеройной машины типа бульдозер (далее бульдозер) за счет уменьшения величины отклонения от проектных отметок при распределении грунта и других материалов с помощью отвала во всем диапазоне допустимых скоростей движения машины.

1.2 Снижение трудоемкости работы оператора бульдозера за счет отсутствия необходимости ручного контроля положения отвала относительно проектных отметок в автоматическом режиме, а также визуальной индикации режимов работы системы и разницы между текущей сформированной поверхностью и проектной цифровой моделью поверхности (ЦМП).

1.3 САУ предназначена для автоматического управления положением по высоте и перекосом отвала бульдозера с целью сокращения разницы между оценкой реального положения в пространстве режущей кромки отвала и заранее загруженной в систему виртуальной цифровой моделью формируемой поверхности.

1.4 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 отвалом бульдозера за счет распределения грунта и других материалов.

2. ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

2.1 Объектом автоматизации является рабочее оборудование землеройной машины типа бульдозер, т.е. отвал: в процессе работы системы автоматически вычисляется положение в пространстве режущей кромки ножа отвала, и сравнивается с цифровой моделью формируемой поверхности. При необходимости система посредством управляющего воздействия на органы управления отвалом бульдозера (гидравлическую систему) автоматически корректирует положение отвала по высоте подъема и перекоса так, чтобы оценка положения режущей кромки ножа совпадала с цифровой моделью.

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

2.3 Характерные размеры отвалов и конструкции режущих кромок по ГОСТ 29295-92 и ГОСТ 28771-90 соответственно. Боковых ножей - ГОСТ 28905-91.

2.4 Бульдозер: самоходная гусеничная или колесная машина, оснащенная бульдозерным оборудованием, которое срезает, перемещает и распределяет материал за счет движения машины вперед, а также сменным оборудованием, используемым для реализации напорного или толкающего усилия. (ГОСТ 6747-2018).

2.5. По типу конструкции различают 2 основных типа отвалов бульдозера – поворотный и неповоротный.

2.5.1 Неповоротный отвал крепится к машине посредством двух тяговых брусьев, расположенных по обеим сторонам машины, снаружи гусениц, может перемещаться по высоте и менять свой угол перекоса в поперечной плоскости. При этом, он всегда расположен перпендикулярно относительно продольной оси машины.

2.5.2 Поворотный отвал, крепится к машине на центральном шарнире тяговой рамы, крепящейся к машине внутри гусениц. Данный отвал помимо перемещения по высоте и перекоса способен поворачиваться относительно продольной оси машины для лучшего распределения материала. Поворотные отвалы часто называют планировочными, 6-ти позиционными или РАТ-отвалами.

2.5.3 Отвалы так же можно разделить по виду конструкций:

- Полусферический (SU)
- Сферический (U)
- Прямой (S)
- Сигма-отвал (Σ)

2.6. Привод рабочего оборудования современных бульдозеров осуществляется посредством гидравлической системы. Различают две основные гидравлические схемы - Гидравлическая схема с открытым или с закрытым центром. Схемы с открытым центром в подавляющем большинстве оснащаются нерегулируемыми, шестеренчатыми насосами, производительность которых зависит от числа оборотов приводящего ДВС. Схемы с закрытым центром чаще оснащаются аксиально-поршневыми насосами, позволяющими менять свою производительность при постоянных оборотах ДВС и линией обратной связи - (Load Sensing system).

Управление основным гидрораспределителем бульдозеров может быть:

1. Механическим. В этом случае джойстик оператора через тяги перемещает запорные клапаны на основном гидрораспределителе машины.
2. Пилотным. В этом случае для управления основным гидрораспределителем машины применяется дополнительная (пилотная) гидролиния с меньшим давлением.
3. 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.

2.7 При работе бульдозера максимальный поперечный уклон опорной плоскости (GRP) относительно горизонтальной плоскости – 50%.

2.8 Продольный уклон плоскости GRP относительно горизонтальной плоскости при работе бульдозера не должен превышать 100%.

2.9 Максимальная рабочая скорость бульдозера при максимальных оборотах на максимальной передаче – не более 15 км/ч.

2.10 Основные типы грунтов (ГОСТ 25100-2020), на которых осуществляются работы бульдозеров:

- песчаные грунты;
- скальные грунты;
- суглинки и супеси;
- глинистые грунты;
- грунты с органическими примесями;
- крупноблочные грунты;
- лёсс;
- насыпные грунты.

2.11. Материалы для обустройства оснований строительных конструкций:

- Песок;
- Щебень гранитный/гравийный различных фракций.

2.12 Условия окружающей среды О1. (ГОСТ 15150-69).

3. ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ

3.1 Оценка положения в пространстве осуществляется как непосредственно для рабочего оборудования – отвала, так и для положения базовой машины с последующим пересчетом в область режущей кромки лезвия отвала. В первом случае аппаратура подсистемы вычисления местоположения или её часть (приемная антенна) располагается на отвале, в втором случае – на крыше кабины бульдозера, а пересчет в область режущей кромки осуществляется с учетом оценки пространственных углов положения базовой машины, отвала и подвижных элементов рамы крепления отвала к машине.

3.2 Индикация координат фактического положения отвала, разницы между оценкой фактического положения режущей кромки отвала 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 Обеспечивается возможность оснащения аппаратурой АПК САУ «Бульдозер» бульдозеров с любыми типами отвалов. Для этого предусмотрена возможность устанавливать в системной конфигурации АПК САУ «Бульдозер» характерные размеры базовой машины, а также тип и характерные размеры отвала.

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

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

3.5 АПК САУ «Бульдозер» имеет возможность создавать простые типы поверхностей собственными средствами. По вычисленной позиции режущей кромки отвала 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 «Бульдозер» имеет возможность загружать в 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 «Бульдозер» 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 «Бульдозер» функционирует в как режиме автоматического управления отвалом, так в режиме, когда оператор управляет работой отвала вручную. При этом в ручном режиме система обеспечивает всю необходимую оператору индикацию о состоянии системы, положении отвала и расстоянии до проектных отметок от текущего положения отвала, то есть должна обеспечивать все функции за исключением собственно автоматического управления отвалом.

3.9 Предусмотрено два режима функционирования АПК САУ «Бульдозер» при автоматическом управлении отвалом:

- «3D» основной режим: система при полной доступности навигационных измерений по сигналам СРНС вычисляет пространственное положение режущей

кромки ножа отвала и управляет положением отвала так, чтобы разница между оценкой положения отвала и ЦМП стремилась к нулю.

- “2D” вспомогательный режим: система при невозможности вычисления навигационных измерений по сигналам СРНС удерживает неизменным пространственное положение режущей кромки ножа отвала, то есть управляет положением отвала так, чтобы удерживать без изменения поперечный уклон отвала.

3.10 Режимы управления положением режущей кромки ножа отвала должны предусматривать два варианта вычисления разницы между текущей оценкой и ЦМП:

- По одной точке: на режущей кромке отвала задается одна точка, для которой вычисляется разница по высоте относительно ЦМП. В процессе работы АПК САУ «Бульдозер» управляя отвалом по высоте и поперечному уклону стремится изменить положение отвала по высоте и уклону так чтобы его оценка совпадала ЦМП. Положение точки на режущей кромке отвала может отличаться от центрального положения и задается в настройках системы перед началом работы.

- По поверхности режущей кромки целиком (BestFit): рассчитывается прямая, наиболее близко соответствующая сечению ЦМП плоскостью отвала, например методом наименьших квадратов, и в процессе управления система изменяет положение отвала по высоте и поперечному уклону так, чтобы совместить линию режущей кромки отвала с рассчитанной линией сечения ЦМП.

3.11 АПК САУ «Бульдозер» имеет возможность передачи по беспроводному интерфейсу на удаленный сервер информации о текущем положении машины, выполненных работах и др.

3.12 АПК САУ «Бульдозер» должна иметь возможность обеспечения по беспроводному интерфейсу сервисной поддержки пользователей.

3.13 Система обеспечивает точность автоматического позиционирования по высоте режущей кромки лезвия отвала бульдозера – 15мм (СКО) для всех типов бульдозеров и гидравлических систем управления отвалом, во всем диапазоне допустимых скоростей, в лю-бых погодных условиях, допустимых в климатических зонах работы, для всех типов грунтов при нагрузках на отвал, не превышающих предельно допустимых характеристик машины.

3.14 Система обеспечивает точность автоматического позиционирования по высоте режущей кромки лезвия отвала грейдера – 1мм + ppm (СКО) в режиме позиционирования LPS.

Примечание: при использовании тахометров с меньшей точностью, точность системы автоматического позиционирования отвала может быть соответственно ухудшена до значений, обеспечиваемых системой вычисления координат тахеометров.

3.15 Система обеспечивает требуемые показатели назначения для всех типов бульдозеров и гидравлических систем управления отвалом, во всем диапазоне допустимых скоростей, в любых погодных условиях, допустимых в климатических зонах работы, для всех типов грунтов (см. п.3) нагрузках на отвал, не превышающих предельно допустимых характеристик машины.

4. СОСТАВ СИСТЕМЫ

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

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

4.2. Подсистема вычисления местоположения по сигналам спутниковых радионавигационных систем (СРНС), предназначена для определения координат фазового центра приемной антенны в глобальных системах координат, связанных с Землей, а также в некоторых конфигурациях ориентацию продольной оси машины относительно направления на Север (угол Азимута).

4.3. Подсистема локального позиционирования (LPS), предназначена для приема от тахеометра по радиоканалу вычисленных дальномерным способом координат центра призмы в локальных СК относительно местоположения тахеометра.

4.4. 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.

4.5. Подсистема вычисления пространственных углов наклона базовой машины и отвала бульдозера предназначена для оценки пространственных углов положения отвала и/или базовой машины и конструктивных осей в пространстве относительно пространственных плоскостей: горизонтальной, вертикальной и азимутальной соответственно. Оценка

пространственных углов позволяет обеспечить пересчет вычисленных подсистемой СРНС координат фазового центра антенны в область режущей кромки лезвия отвала бульдозера;

4.6. Основной контроллер системы предназначен для организации взаимодействия между всеми подсистемами ПАК САУ «Бульдозер», 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 итп);

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 «Бульдозер» к сети Интернет посредством беспроводных сетей связи стандарта LTE.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Для бульдозера основными конфигурациями систем являются системы с приемной антенной сигналов СРНС на мачте, расположенной на отвале или безмачтовые системы, в которых антенна расположена на крыше машины, а положение отвала вычисляется по показаниям системы измерения углов, расположенных на отвале и корпусе машины, а иногда и на тяговой раме отвала (тяговом бруссе).

В случае мачтовой конфигурации возможны варианты с одиночной или сдвоенной антенной на одной мачте или конфигурация с двумя мачтами. В двухмачтовой конфигурации датчик наклона не используется, поперечный уклон отвала определяется по разнице высот между антеннами приемниками СРНС на отвале.

Для позиционирования используют один или два спутниковых приемника. В случае с одним приемником, ориентация машины на 3D модели осуществляется исходя из определения направления движения. Это приводит к ряду ограничений, например, одним приемником в мачтовой конфигурации невозможно определить поворот отвала относительно машины. Это приводит к ошибкам в формировании поверхности при работе повернутым отвалом. Двухмачтовые конфигурации лишены этой проблемы, отвал в них расположен правильно, вне зависимости от вектора движения формируется правильная поверхность, но на панели управления как правило происходит неверная визуализация процесса – бульдозер движется по модели боком, с отвалом, расположенным под углом 90 гр. к машине.

Безмачтовые решения работают в данных условиях более правильно. Вычисляя взаимное положение сенсоров, система «знает» угол поворота отвала относительно тела машины и способна визуализировать угол поворота отвала на панели управления. Одна или две спутниковые антенны влияют на возможность постоянной ориентации машины (без начала движения) а также позволяют правильно отрабатывать во время движения машины лагом – бокового соскальзывания машины при движении по поверхностям с большим значением поперечного уклона.