В. И. Токарев

МОНОГРАФИЯ

МОНИТОРИНГ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОГРУЗЧИКОВ

Волгоград ∗ФНЦ агроэкологии РАН∗2020

УДК 621.86+631.3.05

Токарев В. И. Мониторинг режимов работы и повышение эффективности мобильных сельскохозяйственных погрузчиков (монография). – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2020. – 168 с.

Рассматриваются результаты исследований актуальных задачи повышения эксплуатационной эффективности сельскохозяйственных погрузочных агрегатов, пути повышения производительности погрузочно-транспортных работ и безопасности эксплуатации мобильных погрузчиков путем контроля устойчивости. Показан комплексный подход к созданию средств приборного контроля и мониторинга показателей работы сельскохозяйственных погрузчиков.

На основе разработанных методов создан и апробирован в производственных условиях программно-аппаратный комплекс мониторинга эксплуатационно-технологических параметров работы погрузчиков.

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся разработкой и эксплуатацией сельскохозяйственных погрузчиков и систем приборного контроля, а также аспирантов и студентов, исследующих методы и системы повышения эффективности эксплуатации мобильных погрузчиков циклического действия.

Рецензенты: **Д. С. Гапич**, доктор технических наук; **А. Е. Новиков**, доктор технических наук.

ISBN 978-5-6044587-7-8

©Токарев В. И., 2020
© ФНЦ агроэкологии РАН, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатационно-технологический мониторинг погрузочно-разгрузочных и транспортных работ, на которых задействованы мобильные погрузчики, является не только средством повышения производительности, качества работ, комфорта и безопасности труда, но и средством повышения потребительских качеств техники. Постоянный контроль устойчивости погрузочного агрегата позволяет принимать оператору оперативные решения по предотвращению аварийных ситуаций и повышает безопасность погрузочно-разгрузочных работ.

Автоматизация сельскохозяйственных погрузчиков и погрузочных манипуляторов, мониторинг технологических параметров работы погрузочного средства в режиме реального времени способствует повышению производительности и улучшению условий труда оператора. Однако современные сельскохозяйственные погрузчики и манипуляторы не в достаточной степени снабжаются средствами контроля параметров технологического процесса. Из отечественных погрузчиков только погрузчик *Fenix* (Ростсельмаш) оборудован указателем рабочего положения исполнительного органа [33, 107].

Обеспечение безопасности работы на грузоподъемных машинах в России регламентируются Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопас-

ности, зарубежные же погрузчики соответствуют стандартам в области безопасности ISO и EN. Отечественные сельскохозяйственные погрузчики практически не оснащаются системами контроля обеспечения безопасности [29, 72, 74, 82].

Повышение эксплуатационной эффективности погрузочных агрегатов сельскохозяйственного назначения видится путем решения проблемы создания эффективной бортовой информационной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров с интегрированной системой контроля устойчивости погрузочного агрегата.

В связи с этим, оснащение мобильных погрузочных агрегатов системами мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и контроля устойчивости является актуальной задачей.

Исследованием взаимосвязи удельных технико-экономических показателей сельскохозяйственных погрузчиков циклического действия, оценки их эффективности, повышению производительности погрузочных агрегатов на погрузочно-разгрузочных работах со штучными грузами занимались В. Ф. Дубинин, В. М. Герасун, В. Л. Строков, И. М. Павлов, Е. Е. Демин, Ю. А. Гуськов и др. [1-10, 20, 23, 28, 34, 36, 37, 39, 41, 78, 79, 96-98, 103, 113, 119, 124, 135, 136]. Обеспечению безопасности погрузочно-разгрузочных работ и устойчивости сельскохозяйственных погрузчиков и манипуляторов посвящены работы Я. В. Рось, Л. А. Голдобиной, А. С. Иоффе, В. М. Герасуна, В. И. Пындака, А. Ф. Рогачёва, А. И. Удовкина и других ученых [6, 21, 24, 25, 29, 31, 36, 44, 97, 104, 106, 113,

118, 120, 121].

В последнее время бортовые информационные системы стали неотъемлемой частью сельскохозяйственных машин. Разработке и аналитическим основам проектирования систем приборного контроля режимов работы машинно-тракторных агрегатов посвящены работы И. Ф. Бородина, С. П. Гельфенбейна, С. А. Иофинова, Г. М. Кутькова, Ю. А. Тырнова и др. В данных работах рассматривались основные методические подходы и аналитические основы проектирования систем контроля. Однако проблема внедрения систем контроля режимов работы отечественных погрузочно-транспортных агрегатов до сих пор не имеет комплексного решения [18, 20, 26, 27, 43, 55, 56, 119].

Основная цель данной работы, это повышение эксплуатационной эффективности за счет разработки комплексной системы мониторинга параметров технологического процесса грузопереработки и контроля устойчивости погрузочного агрегата.

В работе проведен анализ средств автоматизации сельскохозяйственных погрузочных агрегатов, систем контроля показателей их работы и средств обеспечения безопасности. Обоснована структура и разработана комплексная система мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и контроля безопасной эксплуатации погрузочного агрегата циклического действия.

Теоретически обоснована и разработана методика получения показателей эффективности погрузочного агрегата. Разработан алгоритм вычисления эксплуатационно-технологических параметров по регистрируемым косвен-

ным показателям работы.

Сформулированы подходы к определению устойчивости погрузочного агрегата в продольной и поперечной плоскостях, разработана математическая модель датчика положения, теоретически обоснованы параметры датчиков углов наклона агрегата и проведена проверка адекватности математической модели опытному образцу системы на стенде и реальном погрузчике.

Оценена надежность разработанной системы мониторинга эксплуатационно-технологических показателей работы и контроля устойчивости погрузочного агрегата.

Приведены результаты производственных испытаний комплексной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и контроля безопасной эксплуатации погрузочного агрегата и оценить экономический эффект ее применения.

Разработанные комплексная система мониторинга и методика определения эксплуатационно-технологических показателей эффективности использования погрузочного агрегата могут применяться практически на всех сельскохозяйственных погрузчиках и манипуляторах вследствие универсальности аппаратной части.

Автор выражает благодарность кафедре "Механика" ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ и особо своему научному руководителю, д. т. н. Несмиянову И. А. за поддержку и помощь в проведении представленных в книге научных исследований.

1. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ПРИБОРНОГО КОНТРОЛЯ В МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОГРУЗЧИКАХ И МАНИПУЛЯТОРАХ

1.1. Сельскохозяйственные погрузчики и манипуляторы в технологических процессах погрузки-разгрузки штучных грузов

1.1.1. Основные технологические процессы переработки штучных грузов в сельскохозяйственном производстве

В конце XX и начале XXI вв. из-за отсутствия государственной поддержки накопилось достаточно много проблем с перевозкой контейнерных грузов в промышленности и сельском хозяйстве, несмотря на то, что контейнерные перевозки сельскохозяйственной продукции имеют значительные преимущества перед другими способами транспортировки. Контейнеризация в разы повышает уровень и эффективность погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ, позволяет увеличить сохранность плодоовощной продукции при транспортировке.

На штучные грузы в АПК приходится 35-45 % всех погрузочно-разгрузочных работ [28]. Анализ распределения штучных грузов по массе показывает, что грузы массой до 900 кг составляют примерно 80-85 %, массой до 500 кг – до 60 % общего их количества в общей номенклатуре грузов.

В общем объеме грузопереработки в растениеводстве на штучные грузы приходится 21-27 %, это сено в тюках, овощи и плоды в мешках, ящиках и контейнерах, гербициды, пестициды и удобрения в таре и др. (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Основная номенклатура и массовые свойства сельскохозяйственных грузов

Наименование груза и вид упаковки	Масса груза, кг
Мешки, ящики с сахаром, зерном, удобрениями, овощами, фруктами	50-100
Поддоны, бочки, бидоны, улья	100-250
Контейнеры с овощами, фруктами	250-600
Тюки и рулоны сена, соломы	50-800
Контейнеры с корнеплодами, удобрениями, прочими сыпучими грузами	600-1200
Строительные и прочие грузы	1000-2500

В сельском хозяйстве погрузочно-разгрузочные работы с контейнерами используются для широкого ассортимента грузов: плоды, корнеплоды, овощи, комбикорма (65-70 %), минеральные удобрения (80-85 %), [18, 46].

Штучные грузы в животноводстве составляют около 10 % от общего объема грузопереработки, при этом масса перемещаемых штучных грузов как правило не более 250 кг. На внутрихозяйственных работах, которые носят разовый и малообъемный характер количество штучных грузов не превышает 10 % при средней массе перемещаемых грузов 500 кг [114].

Производство и доставка сельскохозяйственной продукции до конечного потребителя неразрывно связаны с погрузочно-разгрузочными работами. Причем, грузопереработка в разной степени необходима на производстве

всех видов сельскохозяйственной продукции, рассмотрим лишь часть примеров технологических процессов грузопереработки: уборка плодоовощной продукции (рис. 1.1) и процесс заготовки сена (соломы) в тюках (рис. 1.2).

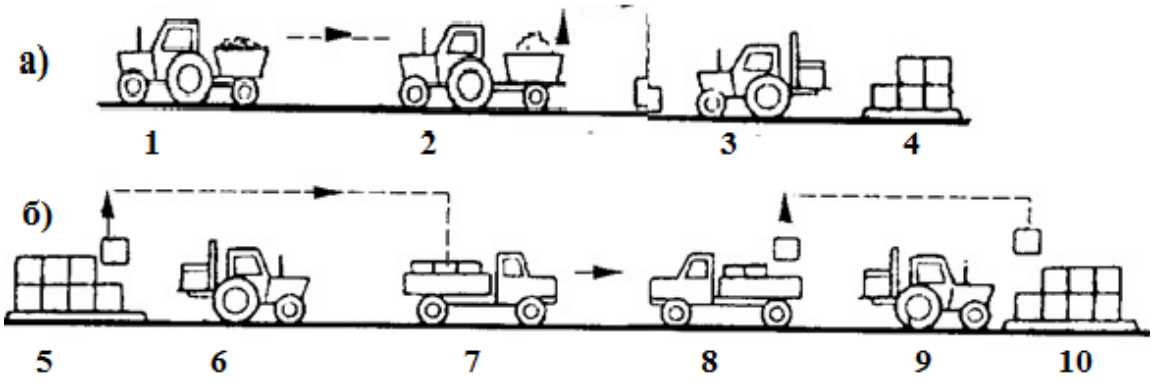


Рис. 1.1. Технологический процесс контейнерной переработки плодоовощной продукции: (а) на поле; б) с поля до потребителя (хранилища)

Рис. 1.2. Технологический процесс заготовки сена (соломы) в тюках

Собранный на поле урожай овощей или корнеплодов загружается в прицеп 1 (см. рис. 1.1а) и транспортируется к месту затаривания 2 в контейнеры или мешки, затаренная продукция посредством вилочных погрузчиков 3 (для контейнеров) или стреловых погрузчиков (для мешков) штабе-

лируется на подготовленной площадке 4. Из подготовленного штабеля 5 (см. рис. 1.1б) посредством вилочного погрузчика 6 контейнеры грузятся на транспортное средство 7, которое доставляет затаренную продукцию к месту хранения или реализации 8. На конечном пункте посредством вилочного погрузчика 9 контейнеры либо штабелируются в хранилище 10, либо отгружаются потребителю.

Заготовка грубых кормов прессованием в тюки и рулоны обоснована не только лучшей сохранностью кормов, но и удобством погрузочно-транспортных работ. В последнее время все больше популярна технология заготовки сенажа в упаковке, которая включает в себя следующие этапы кошение трав, ворошение и подвяливание скошенной массы, формирование валков, прессование массы в рулоны, транспортировку рулонов к месту складирования, упаковку рулонов в специальную пленку и складирование рулонов. Основные технологические операции заготовки грубых кормов прессованием представлены на рис. 1.2.

Для подбора и прессования сена (соломы) в тюки применяются пресс-подборщики ПС-1,6; ППЛ-Ф-1,6 и др. Для прессования сена в рулоны используются пресс-подборщик рулонов *Pelikan* 1200; ПРП-1,6; ПРФ-750 [13].

Операции подбора с поля, погрузки, выгрузки и штабелировании тюков (рулонов) возможно выполнять погрузчиками ПФ-0,5; ПКУ-0,8; СНУ-0,8 (550); ПФУ-0,8 (*Fenix*-800); ПКС-1,6 (*Fenix Max* 1600); ПФН-3000 и другими с вилочным или игольчатым захватов, подбираемыми для заданного типоразмера тюка (рулона). Для погрузки крупногабаритных рулонов применяют специальные

клещевые захваты. Транспортировку тюков проводят тракторными прицепами и автомобилями, для перевозки рулонов используют специальные рулоновозы и длинномерные тракторные прицепы [61, 63, 70].

Как видно из приведенных примеров разнообразность технологических процессов грузопереработки в агропромышленном секторе регламентирует использование различных погрузочно-транспортных машин, фронтальных погрузчиков, погрузочных манипуляторов. Обоснованием потребности АПК в универсальных погрузчиках и манипуляторах в зависимости от видов груза посвящена работа В. М. Герасуна [28] до настоящего времени не утратившая своей актуальности, им же был обоснован рекомендательный ряд грузоподъемности для универсальных погрузочных манипуляторов, работающих со штучными грузами (контейнерами, тюками и т. п.). Подобными исследованиями в этом направлении занимались В. Л. Строков, В. И. Пындак, А. Ф. Рогачёв, В. Ф. Дубинин, И. М. Павлов и др. [38, 77, 98, 114].

1.1.2. Отечественные и зарубежные сельскохозяйственные погрузчики и манипуляторы

Механизация погрузочно-разгрузочных работ в технологических процессах АПК основана на использовании различных типов универсальных и специальных погрузчиков, большинство из которых агрегатируются с колесными и гусеничными тракторами. В настоящее время в сельском хозяйстве используется довольно широкий спектр погру-

зочно-разгрузочной техники. На рис. 1.3 видно, что доля погрузчиков и погрузочных манипуляторов российского производства составляет не более 60 % от всей номенклатуры погрузочных средств. Все большую популярность приобретают зарубежные погрузчики, характеризующиеся высокой надежностью и удобством эксплуатации. Причем, наиболее распространенными зарубежными образцами являются универсальные погрузчики-экскаваторы и мобильные фронтальные вилочные погрузчики, обладающие высокой маневренностью шасси [50, 60, 109, 117].

Рис. 1.3. Соотношение стран-производителей погрузчиков и манипуляторов для АПК на российском рынке поставщиков

Разнообразие погрузочно-разгрузочных работ в аграрном секторе существенно влияет на используемую номенклатуру погрузочно-разгрузочных машин. Анализ более сотни моделей погрузчиков, погрузочных манипуляторов, погрузчиков-экскаваторов различных производителей, предлагающих свои модели на российском рынке, а также данные агроснабов России позволили выявить, что доля навесных погрузочных машин составляет 58 %. Этот факт подтверждает то, что сельхозпроизводитель вынужден использовать для погрузочно-разгрузочных операций универсально-пропашные трактора класса 1,4-3,0 кН (рис. 1.4а). Однако в последнее время даже в фермерских хо-

зяйствах очень часто используются энергонасыщенные трактора, чаще зарубежные и некоторые модели не предусматривают навесного оборудования, вследствие чего растет доля автономных мобильных погрузочных машин.

Рис. 1.4. Распределение номенклатуры сельскохозяйственных погрузчиков по виду агрегатирования и зоне обслуживания: а) доля навесных погрузчиков в их общей номенклатуре; б) доля погрузчиков по зоне обслуживания

Заготовка кормов в животноводстве обуславливает большой объем погрузочно-разгрузочных работ по заготовке сена, соломы, сенажа, силоса, что в свою очередь влияет на модельный ряд погрузчиков. Для таких работ в хозяйствах применяются фронтальные погрузчики: стогометатели, погрузчики рулонов и т. п., доля которых из общего числа погрузчиков показана на диаграмме (см. рис. 1.4б).

Погрузчики и погрузочные манипуляторы являются незаменимым элементом контейнерно-транспортной системы. Для работы в складских помещениях и на подготовленных поверхностях (токах, асфальтированных площадках) применяются мобильные вилочные погрузчики отечественных производителей ГК "Волжский погрузчик"

(г. Нижний Новгород) (рис. 1.5а), ОАО "МЗ им. М. И. Калинина" (г. Екатеринбург) (рис. 1.5б), ОАО "Тверской экскаватор". Для работы в полевых условиях может применяться вилочный погрузчик ВТЗ-30СШ-ПВ (рис. 1.5в) производства ООО "Владимирский моторо-тракторный завод".

а)

б)

в)

Рис. 1.5. Вилочные погрузчики отечественных производителей: а) погрузчик VP G20 (газобензиновый); б) вилочный погрузчик серии MP20 ЭП 1620/1820/2020; в) вилочный погрузчик ВТЗ-30СШ-ПВ

Для погрузочно-разгрузочных и транспортных работ по переработке контейнеров применяется тракторный погрузчик контейнеровоз ПКП-2, совмещающий в себе прицепное устройство и портальный кран. Прицепной погрузчик ПКП-2 применяется при грузопереработке контейнеров с удобрениями, сельскохозяйственной продукцией как на складах, так и в полевых условиях [46]. Для механизации погрузочно-разгрузочных работ с минеральными удобрениями в упаковке "*bigbag*", мешками с зерном и другими

пакетированными грузами применяется навесной гидравлический манипулятор МГН-1200 (производитель ООО "Урал Ижсервис", г. Ижевск), (рис. 1.6а). Более универсальным по сравнению с МГН-1200 является гидравлический навесной телескопический манипулятор с поворотной стрелой ГСТ-1000 "Диапазон" (рис. 1.6б) (производитель НПО "Диапазон", Украина, г. Антрацит Луганской обл.).

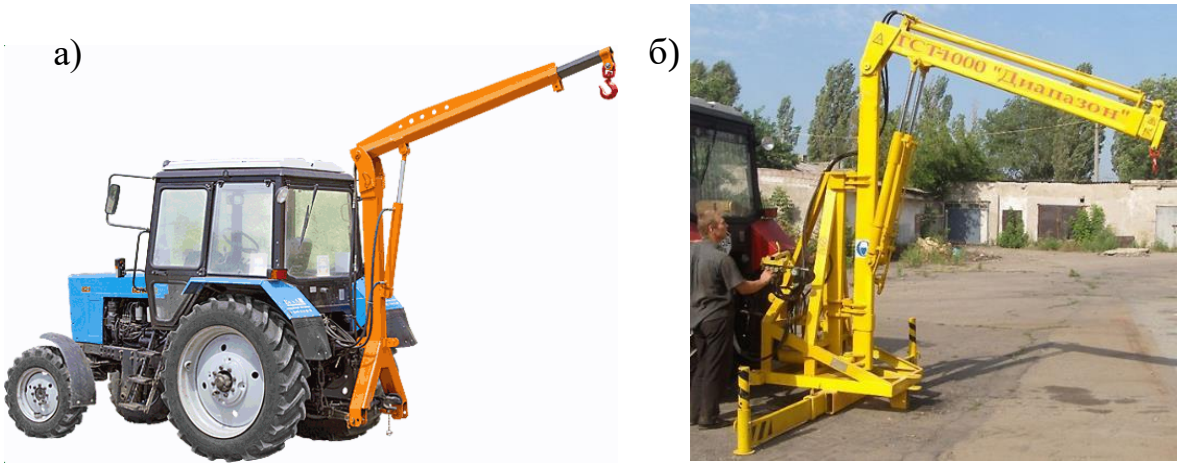


Рис. 1.6. Погрузчики и манипуляторы для грузопереработки контейнеров и пакетированных грузов: а) МГН-1200; б) ГСТ-1000 "Диапазон"

Для переработки различных штучных грузов от 100 до 800 кг (контейнеров, пакетов, мешков и др.) могут применяться погрузочные манипуляторы с пространственным исполнительным механизмом, разработанные в Волгоградском ГАУ на кафедре "Механика" В. М. Герасуном, В. И. Пындаком, А. П. Потемкиным, А. Ф. Рогачёвым и др. (рис. 1.7) [1-10, 83-85, 88]. Эти манипуляторы предназначены для выполнения погрузочно-разгрузочных работ со штучными грузами: контейнерами, тюками, мешками и т. п., а также для выполнения подсобных работ на складах, машинно-тракторных мастерских, животноводческих фермах.

Для работы с сыпучими грузами и при грузопере-

работке тюков, рулонов сена и соломы используются фронтальные погрузчики, некоторые модели могут использоваться как выгружатели контейнеров (рис. 1.8).

Рис. 1.7. Погрузочные манипуляторы, разработанные в Волгоградском ГАУ: а) бесстреловой погрузочный манипулятор БПМ-0,5; б) навесной погрузочный манипулятор НПМ-0,6М; в) навесной погрузочный манипулятор НПМ-0,8; г) навесной манипулятор НМВ-1,5

Следует отметить, что основу действующего парка отечественных погрузчиков в АПК составляют машины со сроком службы 5 лет и более, и почти 20 % морально устаревшей техники и с истекшим сроком службы.

Номенклатура зарубежных погрузчиков значительно больше, нежели отечественных и из стран СНГ, несмотря на более высокую стоимость по сравнению с отечествен-

ными, зарубежные погрузчики заняли свою нишу в сельскохозяйственном производстве за счет удобства эксплуатации и высокой надежности.

Рис. 1.8. Фронтальные погрузчики: а) экскаватор-погрузчик "БЕЛАРУС" ЭП-491 (ООО "Мозырский машиностроительный завод"); б) фронтальный погрузчик ПФН-0.9 "Пионер"; в) погрузчик фронтальный сельскохозяйственный ПФС-0,75 (ООО "Мозырский машиностроительный завод")

Фирма "Хиаб" (Швеция) известна манипуляторами марок "Хиаб" и "Йонсеред" и выпускает 132 вида моделей манипуляторов для различных народохозяйственных целей с вылетом стрелы от 1,7 м до 10 м. В настоящее время "Хиаб" производит в год около 10 тысяч манипуляторов, что составляет более трети мирового рынка погрузочных

манипуляторов (Хиаб 670К, *J*590/690/790/890).

Финская фирма "Логлифт" специализируется на выпуске манипуляторов различных серий для тракторов и лесовозов *F*40*L*, *F*60*F*, *F*50*V*(*L*), *F*75*S*75, модели серии *V*, *L*, *LT* агрегатируются только с лесными тракторами. Известными зарубежными изготовителями и поставщиками погрузчиков и манипуляторов являются *EPSILON* (Австрия) – *E*8.79*P*, "Техномеханика" (Хорватия) – *HAK*-7*S*, *LIV* (Словения) – *L*3,52; *L*5,70*H*; *L*6,42*S*, *Nokka* (31*H*; 38*H*; 39*H*; 39*KX*), *EFFER* (Италия).

Компания *Fassi* (Великобритания) производит широкий ассортимент дополнительного навесного оборудования для своих кранов-манипуляторов: вилочные захваты, ковши, грейферы.

В сельскохозяйственных погрузчиках и погрузочных манипуляторах применяются как правило шарнирно-рычажные исполнительные механизмы. В харвестерах в основном используются манипуляторы двух кинематических схем: шарнирно-рычажные и комбинированные с телескопической вставкой.

Применение дорогостоящих манипуляторов и погрузчиков в скандинавских странах стало высокорентабельным только с середины 80-х гг. XX в. благодаря широкому применению на них бортовых компьютеров с соответствующим программным обеспечением, что позволило автоматизировать выполнение элементарных операций управления без оператора. Работа манипулятора с системой автоматизации управления осуществляется с помощью коммуникационной системы: датчики-бортовая ЭВМ-оператор.

1.2. Контрольно-измерительные и сигнальные системы обеспечения безопасной эксплуатации сельскохозяйственных погрузчиков и манипуляторов

Сельскохозяйственные погрузчики являются устройствами повышенной опасности. Безопасное состояние погрузочного агрегата должно удовлетворять двум условиям: исключение аварийных ситуаций при проведении погрузочно-разгрузочных работ и предотвращение воздействия на машиниста-оператора опасных и вредных производственных факторов, возникающих при эксплуатации погрузочного средства [124].

Проблема обеспечения безопасной эксплуатации погрузчиков и манипуляторов чаще всего возникает при отсутствии у оператора необходимой информации о состоянии погрузочного агрегата с последующим возникновением нештатных ситуаций. Хороший обзор (без "мертвых" зон) груза и грузозахватного органа с рабочего места машиниста-оператора гарантирует безопасность обслуживающего персонала (стропальщиков). В связи с этим следует отметить, что к устройствам безопасности сельскохозяйственных погрузчиков необходимо относить помимо средств безаварийной работы, средства и устройства защиты непосредственно оператора.

В Российской Федерации все погрузчики и краны-манипуляторы должны разрабатываться, изготавливаться и эксплуатироваться в соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных

объектов, на которых используются подъемные сооружения" (далее ФНП) [123], которые действуют взамен отмененных Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов-манипуляторов ПБ 10-257-98 и ПБ 10-518-02 [94]. В ФНП конкретно сформулированы требования к устройствам и приборам безопасности, и в частности, к контрольно-измерительным приборам, позволяющим оценивать работоспособность погрузочных средств (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Выдержки из Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности

Требования ФНП	Ссылка на раздел ФНП
Общие требования безопасности и сферы применения	Разд. I, п. 3, 4
Требования к указателям, ограничителям и регистраторам	Разд. IV, п. 49-57
Требования к системам дистанционного управления	Разд. IV, п. 58-61
Эксплуатация погрузочных средств	Разд. VI
Оценка соответствия погрузочных средств и экспертиза их промышленной безопасности	Разд. VII

Зарубежные погрузчики и манипуляторы, в т. ч. и сельскохозяйственного назначения должны оборудоваться устройствами безопасности и эксплуатироваться в соответствии с Правилами Госгортехнадзора России, однако проблем с этим практически нет. В зарубежных грузоподъемных машинах широко используются средства контроля и автоматического управления безопасной эксплуатации погрузочных агрегатов, причем практически каждое требование и устройство безопасности регламентируется своим стандартом (табл. 1.3) [72]. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 010/2011 "О безопасности ма-

шин и оборудования" предусматривает обеспечение соответствия требованиям безопасности машин и оборудования, включая погрузочные, при их разработке, изготовлении, эксплуатации и хранении [92, 93].

Таблица 1.3

Зарубежные стандарты оценки безопасности

Зарубежный стандарт		Оценка по параметру
EN	*ISO*	
*EN*474-1	*ISO*5006 (*ISO*14401)	Обзорность
-	*ISO*12117-2	Использование системы *ROPS*
*EN*474-5	*ISO*8643	Устройство опускания и блокировки стрелы
*EN*474-5	*ISO*3411, *ISO*6682, *ISO*11112	Прочие размерные параметры и положения безопасности

В соответствии с ФНП к приборам и устройствам безопасности манипуляторов относятся ограничители высоты подъема и глубины опускания, ограничитель передвижения, ограничитель наклона стрелы, ограничитель грузоподъемности, указатель грузоподъемности, указатель грузового момента, указатель вылета, указатель наклона манипулятора (креномер).

Концевые выключатели предназначены для автоматической остановки механизмов с электрическим приводом, для грузоподъемных же машин с механическим и гидравлическим приводом концевые выключатели не предусматриваются [122].

На стреловых автомобильных кранах для обеспечения безопасной работы устанавливают ограничители грузоподъемности, ограничители подъема и опускания крюка, ограничитель поворота рамы и универсальный автоматиче-

ский сигнализатор, указатель наклона крана и др. [42]. Ограничители грузоподъемности как правило устанавливаются только на стреловых, башенных и портальных кранах, они нашли применение и в автомобильных манипуляторах и кранах высокой грузоподъемности, в основном применяются электромеханические, механические, гидравлические и комбинированного типа ограничители [122].

Указатели грузоподъемности предназначены для индикации грузоподъемности при установленном вылете и помогают предотвратить перегрузку краново-манипуляторной установки. Например, приборы ОНК-160 (рис. 1.9а), ПЗК-10 (рис. 1.9б) совмещают в себе функции ограничителя нагрузки и защиты от опрокидывания.

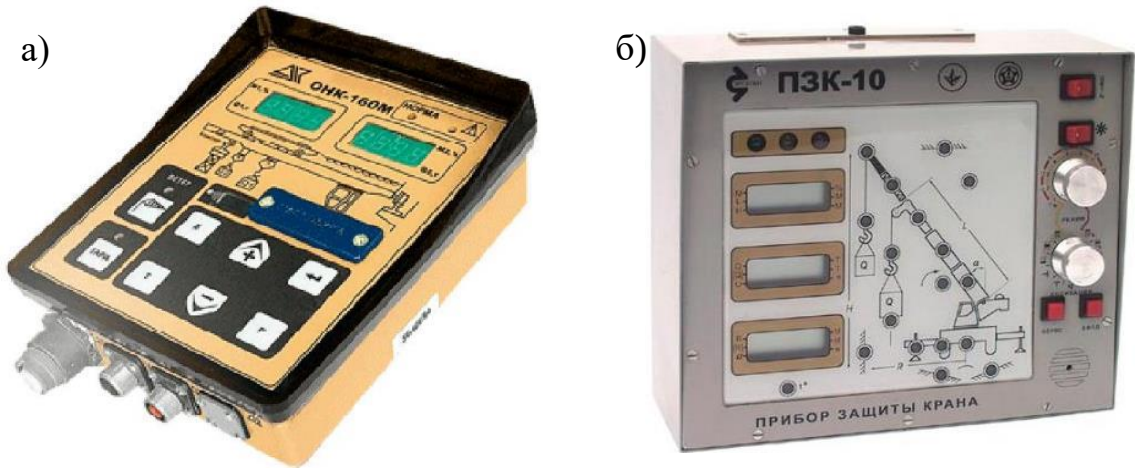


Рис. 1.9. Приборы защиты от опрокидывания и ограничения нагрузки: а) прибор ОНК-160; б) прибор ПЗК-10

Гидроманипуляторы оснащаются аутригерами, которые по конструкции как правило выполняются телескопическими. В целях безопасности каждый аутригер оснащают собственным клапаном управления [33].

Указатель угла наклона применяется на стреловых кранах и манипуляторах для их правильной установки на

Рис. 1.10. Указатель угла наклона УНШ-1

рабочей площадке, например, КСЦ-1, УН-1,3, УНШ-1 (рис. 1.10). Угол наклона крана не должен превышать обычно 3°. Указатели крена должны устанавливаться на самоходных и прицепных кранах и манипуляторах с целью их правильной установки на месте работ и предупреждения опрокидывания, например, УСКМ-7 – указатель-сигнализатор опасного крена (производитель ВНИИстройдормаш).

Для вилочных погрузчиков при штабелировании допускается угол наклона в продольной плоскости – 4 % (18 % при движении с опущенным грузом), в поперечной – 6 % (15 ± 1,1 × V при движении, где V – скорость движения, км/ч), согласно ГОСТ 18962-86 и *ISO*3691-80 [16].

Следует отметить, что некоторые отечественные приборы и устройства безопасности имеют функцию регистрации контролируемых параметров, к таким приборам относятся выше упомянутый ограничитель грузоподъемности ОНК-160С, ПБК-1 (рис. 1.11а), прибор ПРИЗ-1 (рис. 1.11б) предназначен для регистрации параметров и дооборудования кранов с уже установленными приборами обеспечения безопасности без функций регистрации.

Существуют устройства гидроавтоматики, позволяющие регулировать скорость перемещения звеньев манипулятора в зависимости от массы перемещаемого груза [68, 83-85, 127].

а) б)

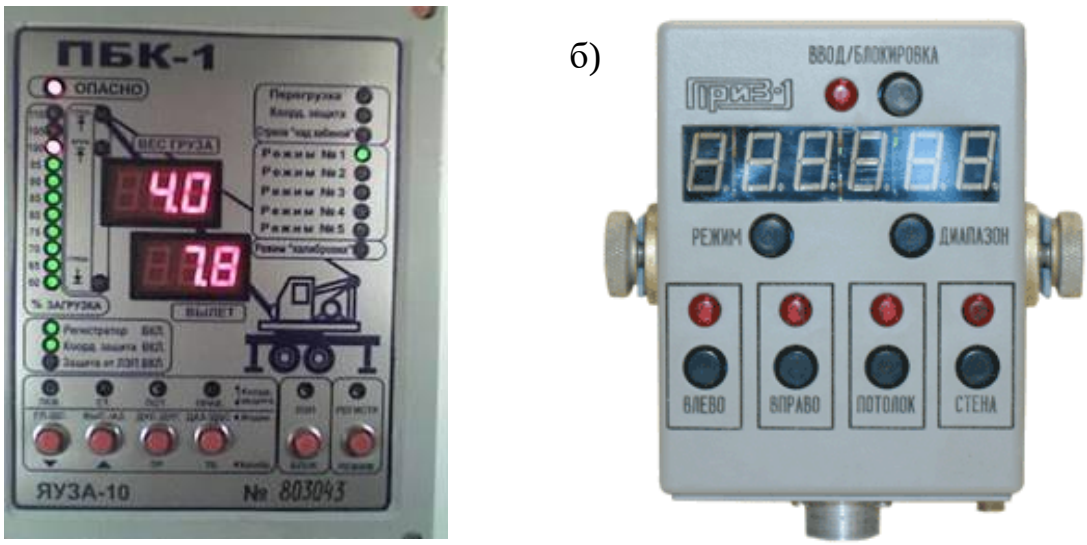


Рис. 1.11. Приборы регистрации контролируемых параметров грузоподъемных кранов: а) ограничитель грузоподъемности ПБК-1; б) блок регистрации параметров ПРИЗ-1

Ранее до 90-х годов при отсутствии доступной электронной элементной базы разрабатывались устройства ограничения грузоподъемности, встраиваемые в гидропривод погрузочных манипуляторов. Например, разработка минского НПО "Дормаш" (А. С. № 1423701, СССР) представляет собой ограничитель грузоподъемности фронтального погрузчика, состоявшего из системы предохранительных и обратных клапанов. Недостатком таких систем является усложнение гидравлической схемы и потери энергии на дросселирование жидкости через системы клапанов и дополнительных гидрораспределителей [111]. В работе [127] отмечается "…при эксплуатации одного автопогрузчика в течение года значительная часть топлива расходуется на холостую работу насосов гидросистем рулевого управления и грузоподъемного механизма", это происходит вследствие автономных гидросистем привода гидротехнической передачи, подъема груза и системы рулевого управ-

ления. Одним из вариантов решения указанной проблемы является перераспределение потоков гидравлической энергии посредством микропроцессорного управления".

Японская фирма "Такэутикомутэн" разработала устройство предупреждения столкновения грузоподъемных кранов с рядом стоящими зданиями, оборудованием и предметами [42].

Погрузчики корпорации *Komatsu America WA*30-6, *WA*40-6 и *WA*50-6 просты в управлении и имеют высокие показатели надежности и безопасности. Система управления обеспечивает защиту от быстрого опускания ковша, не допуская повышения даже заданного машинистом-оператором максимального значения скорости. Это свойство важно для безопасности выполняемых работ на ограниченных площадках. Для безопасности эксплуатации погрузчики оснащены системами защиты от опрокидывания *ROPS* и от падения посторонних предметов на кабину – *FOPS* [67].

Система безопасности *FX*100 позволяет защищать кран-манипулятор от перегрузки путем блокировки движения манипулятора. Система оповещает оператора о достижении нагрузки в интервале 90-100 % светодиодной индикацией на панели управления, а при достижении 100 % нагрузки срабатывает блокировка [138].

Фирма *Fassi* (Италия) выпускает для кранов-манипуляторов электронную систему *XP/SR*, которая позволяет повысить грузоподъемность при работе с предельными нагрузками за счет того, что скорость перемещения груза снижается с увеличением грузоподъемности, при этом уменьшаются динамические нагрузки на металло-

конструкцию манипулятора [57].

Аналогична разработка датской фирмы *HMF* – система мониторинга нагрузок *SLM* (*Superior Load Monitoring*), в которой используется комплект электронных датчиков, реле и соленоидных клапанов для контроля грузоподъемностью при различных положениях стрелы и груза.

В конце 2002 г. был введен в действие дополнительный Европейский стандарт *EN*12999 на грузоподъемные краны. Первой компанией, пересмотревшей конструкции манипуляторов в соответствии с новым стандартом стала компания *Atlas-Terex* (Великобритания), которая специализируется на поставках кранов-манипуляторов военного назначения, а также для коммунального хозяйства и строительных фирм. Компания *Atlas-Terex* в 2003 г. внедрила усовершенствованную систему управления манипулятором *ACM (Advanced Crane Management System)*, включающую систему ограничения нагрузки и позволяющую программно настраивать характеристики крана-манипулятора по индивидуальным потребностям пользователя, регулировать скорость и грузоподъемность, в т. ч. изменять производительность гидросистемы.

В соответствии с требованиями Европейского стандарта *EN*12999 компания *Effer* (Италия) разработала прибор *DMU* (*Data Monitoring Unit* – блок контроля показаний), контролирующий нагрузку и вылет стрелы крана-манипулятора. В случае приближения к предельным нагрузкам *DMU* предупреждает оператора звуковым и световым сигналами, а при превышении допустимого предела блокирует рукоять управления подъемом и поз-

воляет только лишь опустить груз или уменьшить вылет стрелы. Система *DMU* постоянно проверяет устойчивость платформы, опрашивая датчики с частотой 8 раз/с, все показания датчиков записываются регистратором.

Компания *Palfinger* (Австрия) создала систему активного гашения колебаний *AOS*, которая позволяет регистрировать и гасить колебания и вибрации в металлоконструкции манипуляторов.

Для мониторинга нагрузки грузоподъемных машин компания *Magtrol* (Швейцария) разработала серию приборов *LMU* 209/212/217/216, работающих в комплекте с преобразователями-индикаторами *AN*2000*C* и *FN*1500*M*.

Использование электроники в манипуляторах повышает безопасность работы и улучшает управление ими, а использование электронных компонентов в системах безопасности будет только возрастать. По данным источника [107] в 1995 г. электронным управлением снабжалось 10 % кранов-манипуляторов, а в 2001 г. уже 50-60 %. Однако в эти данные не входят сельскохозяйственные погрузчики.

Для упрощения и улучшения работы погрузчик *ROBUST FZ* оснащается указателем положения рабочих органов с легкой регулировкой и хорошим обзором (рис. 1.12а). На фронтальных погрузчиках *Valtra* 40/50/60/35/45/55/65/75/85 (Финляндия) установлен улучшенный указатель рабочего положения органа, который хорошо видно из кабины. Указатель выполнен механическим и легко регулируется (рис. 1.12б).

Отечественный фронтальный универсальный погрузчик *FENIX* 800 (ПФУ-0,8 *Fenix*) (производитель "Ростсель-

а) б)

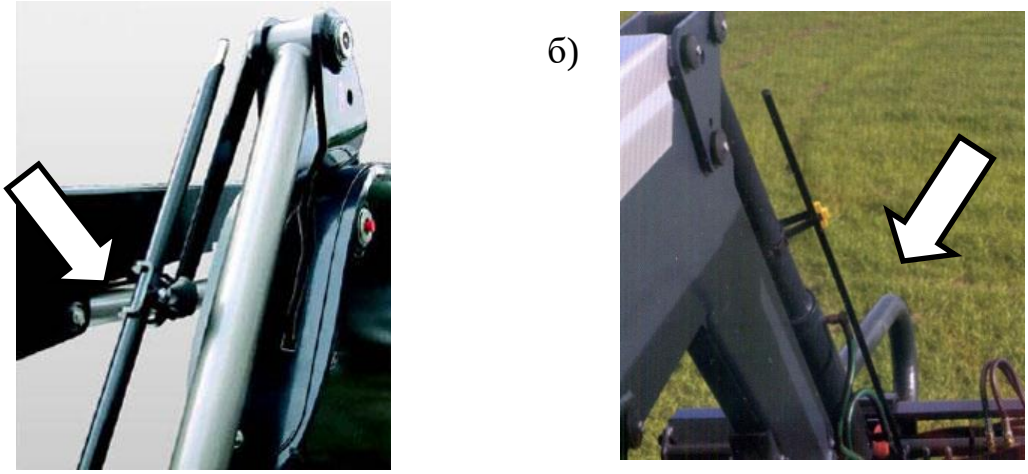


Рис. 1.12. Указатель рабочего положения исполнительного органа погрузчика: а) погрузчик *ROBUST FZ;* б) погрузчик *Valtra*

маш") один из немногих российских погрузчиков, оборудованных указателем контроля установки ковша или вил в заданное положение (рис. 1.13).

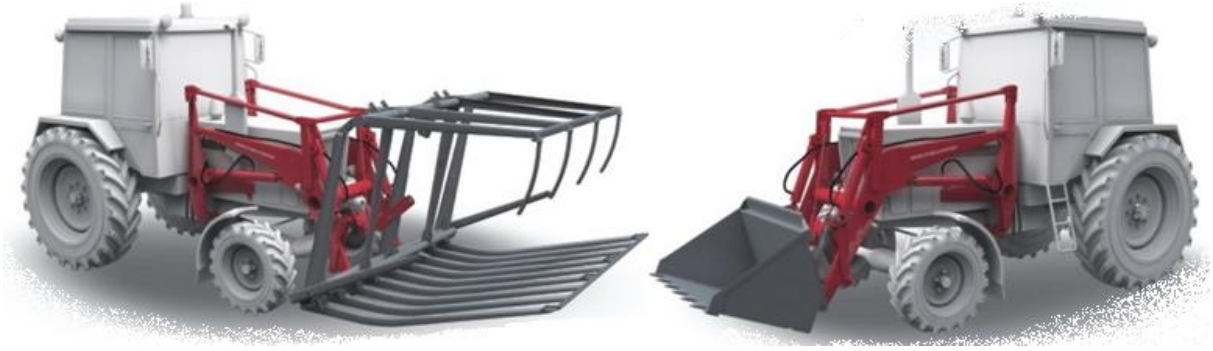


Рис. 1.13. Погрузчик фронтальный универсальный ПФУ-0,8 *Fenix*

Аналогом погрузчика ПФУ-0,8 является погрузчик Атлант 850 (фирма *HYDRAC*, Австрия).

Телескопические фронтальные погрузчики *DIECI* (Италия) оборудованы электронной системой, (рис. 1.14а) позволяющей держать под постоянным контролем нагрузку на вилы или другое рабочее оборудование.

Ограничитель нагрузки (рис. 1.14б) обеспечивает точное и гибкое управление как штатным, так и специаль-

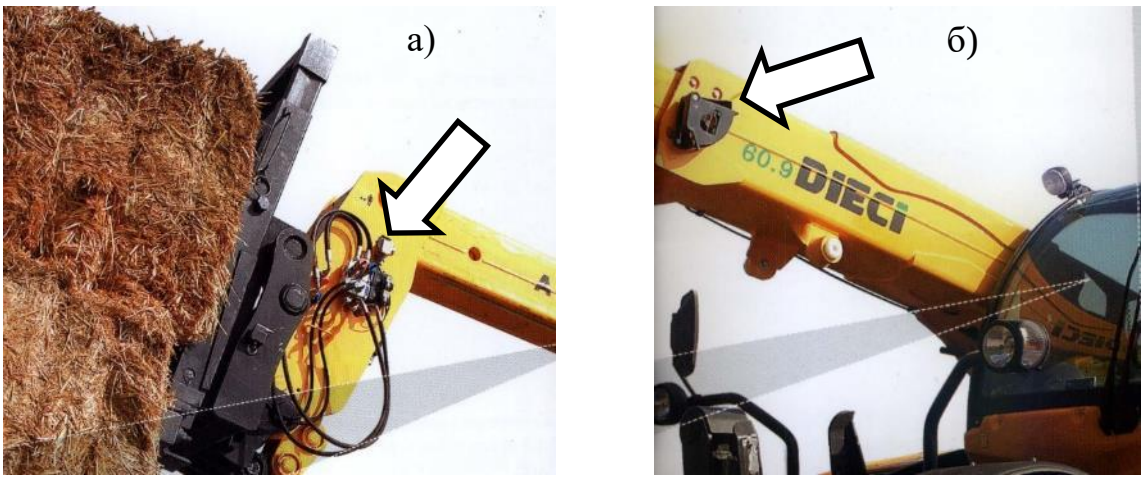


Рис. 1.14. Устройства электронного контроля и ограничения нагрузки фронтального погрузчика*DIECI:* а) устройство контроля нагрузки на вилы; б) устройство ограничения нагрузки на стрелу

ным оборудованием. Все погрузчики фирмы *DIECI* оснащены механизмом предотвращения машины от опрокидывания при резких маневрах. По желанию заказчика погрузчики могут оснащаться системой горизонтального выравнивания рабочего органа. Предохранительная система автоматически блокирует все функции (кроме опускания и сокращения стрелы) в случае достижения максимального опрокидывающего момента на стреле.

1.3. Системы автоматического контроля и управления эксплуатационно-технологическими параметрами работы сельскохозяйственных машин

Большое внимание в последнее время в зарубежном машиностроении уделяется оснащению машин современными средствами автоматизации и электронной техникой. В новых моделях погрузочных машин ряд функциональных операций выполняется автоматически. В работе погрузчиков практически нет повторяющихся одинаковых циклов, и

соответственно автоматика не может заменить оператора полностью, поэтому функцией автоматики является не замена оператора, а облегчение его работы и повышение качества управления [128, 131, 137-139, 141].

Как отмечается в работе [130]: "Автоматизация процессов в сельскохозяйственном производстве обеспечивает при относительно небольших капиталовложениях рост производительности труда, повышение рентабельности". Однако, в той же работе замечено, что отечественная сельскохозяйственная техника не оснащается современными средствами автоматического контроля и управления, исключение составляют зерноуборочные комбайны.

Основные задачи информационной системы контроля погрузочного агрегата:

- измерение, сбор данных и контроль параметров процесса грузопереработки (рабочая скорость, масса груза, производительность, потери сыпучих грузов, контроль энергозатрат);

- сбор сведений о количественных характеристиках возмущающих воздействий, сопровождающих технологический процесс и вызывающих отклонение от нормального режима работы (устойчивость агрегата, положение груза, раскачка груза и агрегата, динамические нагрузки на систему привода рабочего оборудования при движении по пересеченной местности);

- предоставление оператору аудиовизуальной информации от систем автоматического контроля, либо автоматическое управление критическими процессами.

Практически все средства автоматизации современ-

ных тракторов, мобильных и прицепных сельскохозяйственных машин предусматривают применение электронных (микропроцессорных) устройств в качестве управляющих элементов исполнительных механизмов, чаще всего управляемых электрогидравлическими аппаратами (мехатронные приводы) [110, 129].

Наличие на современных тракторах средств автоматизации (СА) стало в последнее время общепринятым атрибутом, повышающим технический уровень, производительность, комфорт и безопасность труда.

Наиболее распространенным объектом автоматизации в сельскохозяйственных тракторах является контрольно-измерительная аппаратура. С помощью микропроцессорных средств расширяется номенклатура контролируемых параметров с целью мониторинга как технического состояния трактора, так и режимов его работы. Чаще всего используются буквенно-цифровые индикаторы для предъявления оператору кодовых сообщений о неисправностях, реже используются жидкокристаллические и светодиодные (*LED*) дисплеи.

Системы автоматизации тракторов в основном направлены на управление моторно-трансмиссионной установкой, а это, как правило, управление впрыском топлива, управление передаточными отношениями трансмиссии и распределение в ней потоков мощности, управление приводами ВОМ, автоматическое регулирование положения навесного устройства.

Управление навесным устройством чаще всего направлено на снижение буксования и возможно несколь-

кими способами автоматического регулирования: силовое, позиционное, комбинированное. Существуют и системы автоматического гашения колебаний навесного устройства с сельскохозяйственным орудием при движении по пересеченной местности.

Развитие микропроцессорной техники в настоящее время позволяет использовать в современных тракторах и мобильных сельскохозяйственных машинах полноценные бортовые компьютеры, способные взять на себя функции обучения, т.е. запоминания последовательности часто повторяющихся действий оператора (на разворотах МТА, перевод сельскохозяйственной машины в транспортное или рабочее состояние и др.), а также автоматическое вождение МТА на заданных участках. Последняя функция как правило осуществляется при непосредственном использовании спутниковой навигационной системы *GPS*. Автоматическое вождение мобильной сельскохозяйственной техники (МТА, самоходных комбайнов, транспортных средств) возможно и без использования спутниковых систем, например, фирма *John Deere* устанавливает на тракторы систему *Green Starr*, которая обеспечивает точность ориентирования не менее 100 мм при использовании наземных радиолокационных станций.

Широкое распространение системы автоматического контроля нашли в зерноуборочных комбайнах, которые осуществляют автоматический контроль более 20 параметров, в т. ч. частоты вращения рабочих органов, скорости движения, потери зерна и др. (зерноуборочные комбайны "Дон", "КЗС-10К" и др.). Фирма *New Holland CNH Deutsch-*

land GmbH разработала новую систему *Intelli Cruise*, которая меняет скорость комбайна в соответствии с величиной потока убираемой массы [141]. Системы автоматизации зерноуборочных комбайнов направлены на контроль и автоматизацию технологического процесса работы комбайна, снижение потерь зерна, улучшение условий труда, увеличение производительности и безопасности труда.

Системы автоматического управления нашли применение в посевных машинах (контроль высева семян), машинах внесения жидких пестицидов и гербицидов (система управления расходом рабочей жидкости – "САУРЖ-3"), харвестерах – манипуляторных многооперационных лесосечных машинах.

Самоходный опрыскиватель *ALPHAevo* 3500/4100 (производитель *Hardi International*) обладает системой автоматического вождения *AutoTrack*, все функции опрыскивателя управляются бортовым компьютером *HC* 9500, позволяющем не только выполнять функции управления режимом распыла, заправки, промывки и перемешиванием раствора, но и сохранять данные и составлять отчеты (рис. 1.15а).

Монитор пневматической сеялки *Great Plains*, устанавливаемый на сеялках моделей *NTA*-3010/3510, позволяет оператору контролировать скорость вентилятора, данные дозирования семян, уровень семян в резервуарах, скорость движения и площадь высева (рис. 1.15б).

Пресс-подборщик *Quadrant* 2200/2200*RC* имеет контрольный терминал *CLAASCCT* с помощью которого водитель управляет и осуществляет контроль над машиной.

а) б)

Рис. 1.15. Бортовые информационные системы сельскохозяйственных машин: а) бортовой компьютер *HC* 9500 самоходного опрыскивателя *ALPHAevo*; б) монитор пневматической сеялки *GreatPlains*

Терминал информирует водителя о длине тюка, давлении прессования, положении ножей, о работе системы обвязывания и о влажности корма в тюке (рис. 1.16).

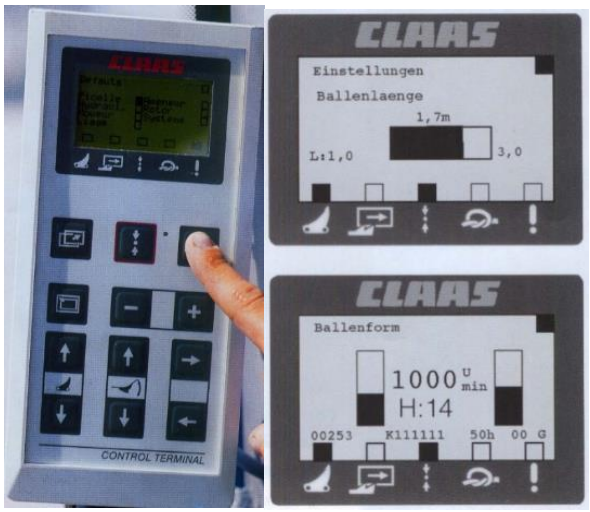


Рис. 1.16. Внешний вид и интерфейс терминала *CLAAS CCT*

Манипуляторы, устанавливаемые на харвестерах, имеют достаточно сложную комбинированную конструкцию с вылетом около 10 м и грузовым моментом 90-100 кНм, на конец манипулятора навешивается харвестерная головка. К примеру, харвестер *John Deere* оснащен управляющей системой "Тимберматик 300", имеющей русский интерфейс и позволяющей задавать параметры при заготовке древесины согласно требованиям заказчика. Режимы автоматизации процесса разделки ствола позволяют в автоматическом режиме протягивать дерево и производить раскряжевку по заданным параметрам: длина и диаметр. Автоматические функции

харвестерной головки, такие как настройка давления ножей и возврат головки, повышают продуктивность работы, не отвлекая оператора от технологического процесса. На дисплее бортового компьютера отображается информация по объему заготовленной продукции, имеется возможность распечатки отчетов по произведенной продукции.

На харвестере *FMG Lokomo* 990/746 (Германия) харвестерная головка оснащена электронной системой для измерения параметров ствола дерева *Lokomatic* 90, обеспечивающая точность обмера 3 %. Модель харвестера "Валмет-921" (Швеция), выпускаемый с 1998 г. Имеет систему управления *VMM*-1000 на базе программы "Максиконтроль", которая реализует стоимостной метод заготовки и позволяет производить сортаменты, пользующиеся наибольшим спросом на рынке.

Электронные системы обеспечивают высокое качество работы, позволяют отслеживать прохождение продукта в машину и помогают документировать технологические процессы [141].

Автоматические системы сельскохозяйственных агрегатов представляют технические устройства, объединяющие электронные и мехатронные элементы и предназначены для автоматического контроля, защиты, регулирования и управления мобильными средствами, технологическими операциями и процессами.

Впервые система автоматизированного сбора эксплуатационно-технических параметров на автомобилях была предложена германской фирмой "Маннесманн-Кинцеле", аналогичной советской разработкой был прибор ТЭМС-1,

который фиксировал момент начала и окончания рейса, время работы водителя, остановки в пути, время суток, скорость, пройденный путь, расход топлива, число оборотов двигателя [47]. Время работы приборов составило несколько суток, данные с прибора можно было переносить на ЭВМ, где можно было впоследствии распечатывать необходимые отчеты и протоколы.

Внедрение таких приборов позволило ускорить учет грузоперевозок, определять и устранять узкие места в работе, выявлять отклонения между плановым и фактическим временем использования машин, что позволило повысить точность и оперативность учета, повысить производительность труда.

Бортовые контрольные системы, оборудованные микропроцессорами, обеспечивают контроль параметров важнейших систем машины и предотвращают возможные аварии, освобождая оператора от непрерывного наблюдения за приборами и предоставляя ему возможность сосредоточиться на выполнении технологических операций. При этом, естественно, повышается производительность машины.

На настоящее время в России и странах СНГ средства автоматизации (СА) на выпускаемой сельскохозяйственной технике используются мало. В сельскохозяйственных погрузчиках и манипуляторах СА практически отсутствуют. Вследствие чего, становится актуальной задача создания эффективных и недорогих средств автоматизации контроля и управления для отечественных мобильных сельскохозяйственных погрузчиков и манипуляторов, и

что особенно актуально в последнее время – на отечественной элементной базе с целью импортозамещения интеллектуальных систем контроля и управления машинами.

Оснащение отечественных погрузчиков встроенными весами также находится на неудовлетворительном уровне. Волгоградский завод весоизмерительной техники, предлагает несколько вариантов, но для повседневной работы крановые весы, механические и электронные динамометры (рис. 1.17) для измерения статических или динамических усилий не совсем удобны.

Рис. 1.17. Весы Волгоградского завода весоизмерительной техники для погрузчиков и кранов-манипуляторов различного назначения: а) механический динамометр; б) электронный динамометр; в) крановые весы (для крюковой подвески); г) крановые весы для вил; д) вилы погрузчика со встроенными весами

ООО "Майкопский машиностроительный завод" с 2012 г. серийно выпускает для лесопромышленных гидроманипуляторов грузоподъемностью от 2200 до 5000 т. регистратор параметров (рис. 1.18), основными функциями которого являются фиксирование количества отработанных часов, дату и время перегрузки конструкции манипулятора от нормативных значений за весь период работы [112].

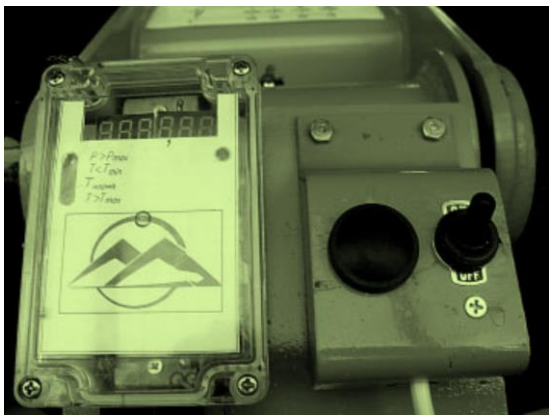


Рис. 1.18. Регистратор параметров для лесопромышленных гидроманипуляторов

Широко распространены установки для контроля эксплуатационных характеристик машины. Эти установки обычно связаны с системами диагностических программ обнаружения ошибок. Электронные системы способствуют более эффективному использованию техники, на которой они установлены, повышают производительность погрузочных и строительных машин, причем вследствие повышения точности управления и регулирования возрастает долговечность оборудования, и, что не менее важно, оператор более уверенно управляет машиной и быстрее приобретает специальные навыки.

Фирма "Катерпиллер" оборудует многие погрузочные, строительные и дорожные машины бортовыми электронными системами контроля *EMS*. В отличие от обычных приборов со стрелочной индикацией, требующих от машиниста-оператора постоянного считывания показаний и их оценки, система *EMS* в автоматическом режиме непрерывно контролирует рабочие параметры и сигнализирует машинисту звуковыми и световыми сигналами о недопустимых отклонениях от заданных режимов. Система следит за температурой и расходом охлаждающей жидкости двигателя, давлением и температурой рабочей жидкости в гидроприводе, уровнем топлива в баке и др.

На погрузчике Амкодор 211 установлен блок кон-

троля и индикации параметров работы систем машины, который контролирует температуру охлаждающей жидкости, уровень топлива, время наработки машины, аварийный уровень масла в баке, перегрев масла, засорение фильтров, давление масла и др. [64].

На погрузчиках *Komatsu America* установлены бортовые компьютеры, работающие в комплексе со спутниковой системой контроля *KOMTRAX*, позволяющие собирать и обрабатывать информацию о координатах позиционирования и технических и эксплуатационных параметрах, таких как например уровень загрузки погрузчика на определенных видах работ.

С помощью другой системы, разработанной фирмой "Манненсманн Демаг" (Германия), контролируется расход топлива на гидравлическом экскаваторе. Датчики давления регистрируют соответствующие давления рабочей жидкости в цилиндрах и выполнение каждого рабочего движения и передают эти данные в микро-ЭВМ, которая определяет, экономично ли работает экскаватор и не потребляет ли он слишком много топлива.

Отличительной особенностью фронтальных погрузчиков *Volvo* является эргономическое место машиниста-оператора, укомплектованное удобными элементами управления рабочими органами с подлокотника (*CDC*) [126].

Электронная система управления *CONTRONIC*, направленная на повышение безопасности эксплуатации, позволяет отображать и сохранять данные о работе погрузчика, предупреждать оператора о сбоях в работе и адаптировать погрузчик к конкретным условиям работы.

Система *CONTRONIC* позволяет контролировать расход топлива и рабочей жидкости, продолжительность рабочего цикла, интервалов технического обслуживания.

Для больших гидравлических экскаваторов в Германии разработана электронная система измерения производительности. С помощью этой системы собираются и передаются на информационную панель оператору важнейшие данные о работе гидравлического экскаватора, например, о заполнении ковша и количестве транспортируемого материала. Оперативное запоминающее устройство и устройство хранения данных предлагают оператору сведения о количестве транспортируемого материала за единицу времени и за рабочее время экскаватора. Количество материала для загрузки транспортного средства можно ввести в память и дать системе задание подсчитать, сколько всего загружено материала. После выполнения определенного числа рабочих циклов на пульте появятся сигналы о полной загрузке автомобиля.

Все средства автоматизации погрузочных машин можно подразделить по их функциональному назначению на [45]:

автоматику координирования процесса управления погрузочным агрегатом;

защитную автоматику;

бортовые средства контроля параметров машины и агрегата;

автоматика диагностирования машины;

автоматика технологических циклов.

1.4. Эффективность использования сельскохозяйственных погрузчиков и оценка их производительности при работе со штучными грузами

Эффективность использования погрузочных средств зависит от многих факторов: конструкции и компоновке погрузочного агрегата, его грузоподъемности, маневренности, управляемости, выполняемой технологической операции, требований к точности позиционирования и сохранности груза и др. Поэтому важно оценивать производительность погрузочных агрегатов на отдельных технологических операциях и циклах технологического процесса с целью эффективного планирования погрузочно-разгрузочных работ.

К эксплуатационным показателям погрузчиков относится коэффициент [14]:

надежности – способность в любой момент выполнять необходимые работы;

быстродействия – характеризует затраты времени при захвате груза и его освобождении, а также скорость передвижения для мобильных погрузчиков;

повышения производительности труда – определяется как среднее значение производительности;

загрузки оборудования – отношение количества переработанных грузов за смену к номинальной грузоподъемности;

использования оборудования – отношение времени работы (без простоев) к продолжительности смены.

Существует несколько различных методик определе-

ния производительности погрузочно-транспортных средств, причем различают теоретическую производительность, техническую и эксплуатационную. Различие ниже представленных методик определения производительности заключается в основном в особенностях определения коэффициентов использования погрузчиков, коэффициентов учитывающих условия работы и времени цикла технологической операции.

Теоретическая производительность погрузчиков периодического действия [13]

$$П_T = 3600 \cdot \frac{Q}{T_ц}, \qquad (1.1)$$

где Q – грузоподъемность погрузчика с оборудованием, т; $T_ц$ – время рабочего цикла, с.

$$T_ц = t_н + t_р + t_T + t_о + t_х + t_П, \qquad (1.2)$$

где $t_н$ – время захвата груза, с (5-25 с); $t_р$ – время рабочего хода, с; $t_Т$ – время маневрирования транспорта, с (для фронтальных и перекидных $t_Т = 0$); $t_о$ – время освобождения груза от рабочего органа, с ($t_о \approx$ 5-12 с); $t_х$ – время холостого хода, с; $t_П$ – суммарное время переключения передач в КПП и гидрораспределителей, 5 с $< t_П <$ 15 с.

Техническая производительность погрузчика за 1 ч. чистой работы [13]

$$П_T = 60 \frac{к_{гр} Q}{T}, \qquad (1.3)$$

где Q – номинальная грузоподъемность, т; $к_{гри}$ – коэффициент использования погрузчика по грузоподъемности; T – время цикла, мин, (время цикла состоит из суммы времени, затрачиваемого на выполнение элементов операций).

$$\kappa_{гр} = \frac{m_{ср}}{Q}, \qquad (1.4)$$

где $m_{ср}$ – средняя масса перегруженных грузов, т.

Время цикла

$$T = t_1 + t_2 + \ldots + t_{11}, \qquad (1.5)$$

где t_1 – время наклона грузоподъемника вперед для заводки вил под груз и подъем груза, м; t_2 – время для разворота погрузчика, с; t_3 – время движения погрузчика с грузом, с; t_3 = 3,6L/V_n (L – дальность перевозки, V_n – скорость передвижения с грузом, по условиям охраны труда ее берут не более 10 м/с; t_4 – время установки подъемника в вертикальное положение с грузом на вилах, с; t_5 – время подъема вил, с; t_6 – время для укладки груза в штабель, с; t_7 – время наклона грузоподъемника назад без груза, с; t_8 – время спуска вил без груза, с; t_9 – время разворота погрузчика без груза, с; t_{10} – время обратного холостого хода, с (аналогично t_3); t_{11} – суммарное время для переключения рычагов, с.

Техническая производительность (т/ч) за час сменного времени может определяться по формуле [13]:

$$П_T = 3600\frac{m}{T_ц}K_T, \qquad (1.6)$$

где m – масса груза, поднимаемого за цикл, т; $K_Т$ = 0,85÷0,9 – коэффициент, учитывающий условия работы.

Эксплуатационная сменная производительность погрузчика

$$П_{экс.см} = zП_T \cdot K_э = \frac{z \cdot 60}{T}K_{гр} \cdot K_э \qquad (1.7)$$

где z – продолжительность смены (8,2 ч при 5-дневной неделе); $K_э$ = 0,4÷0,8 – коэффициент использования по-

грузчика по времени, в течение смены он может изменяться в зависимости от технологии и организации работ.

Эксплуатационная производительность, т/смену (реальная выработка за смену) [13]:

$$П_э = T_с \, П_T \, K_п, \qquad (1.8)$$

где $T_с$ – время работы за смену с учетом технического обслуживания и подготовки погрузчика к работе, $T_с = 6{,}82$;

$К_п$ коэффициент использования погрузчика в течение смены с учетом подачи автотранспорта, подготовки площадки, междусменной передачи и др. $K_п$ = 0,5÷0,8, при правильной организации работ $K_п$ = 0,75÷0,8.

Например, для погрузчика ПГ-0,2А на различных видах погрузки-разгрузки кормов в осенне-зимний период при 8-часовом рабочем дне коэффициент использования одного агрегата составляет 98,9 %, в летнее время – 64,7 % [75].

Годовая производительность автотранспортных средств с краново-манипуляторными установками определяется как [32]:

$$П_г = \frac{365 \cdot q \cdot \gamma \cdot T \cdot V_T \cdot L}{L + t_{пр} \cdot V_T}, \qquad (1.9)$$

где q – грузоподъемность погрузочно-транспортного средства, т; γ – коэффициент использования грузоподъемности; T – время работы погрузочно-транспортного средства в сутки, ч; $V_Т$ – средняя техническая скорость погрузочно-транспортного средства, км/ч; L – расстояние перевозки, км; $t_{пр}$ – время, затрачиваемое на погрузку и разгрузку за одну перевозку груза, ч; $t_{пр}$ – показатель, уменьшение которого в результате сокращения простоев явля-

ется основным резервом увеличения производительности погрузочно-транспортных средств.

Учеными Волгоградского ГАУ В. М. Герасуном, А. Ф. Рогачёвым и С. Ю. Юдиным предложена формула для определения производительности погрузочно-транспортного агрегата [76]:

по времени цикла

$$П_1 = \frac{Q_1 \cdot L_1}{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}, \qquad (1.10)$$

по времени смены

$$П_2 = К_T \cdot П_1, \qquad (1.11)$$

где $К_T$ = 0,8 – коэффициент использования смены.

Составляющие времени цикла получены на примере погрузки тюков сена, погрузчиком НПМ-0,6 [76]:

Время поворота погрузчика $T_6 = 0{,}7 \cdot L_2 \cdot \sqrt{Q_4}$.

Время одного цикла $T_8 = 4 + 0{,}2Q_2 + 2T_6$.

Полное время погрузки одного тюка с учетом времени, затраченного на установку погрузочного агрегата в рабочее положение $T_7 = T_8 + 20$.

Время загрузки телеги $T_1 = T_7 \cdot Q_1/Q_2$.

Транспортировка груза к месту складирования

$T_2 = L_1/v \cdot k_v$.

Укладка тюков в штабель $T_3 = T_8 \cdot Q_1/Q_2 + 20$.

Холостой переезд агрегата $T_4 = T_2$.

Переезд агрегата от одного тюка к другому по полю

$T_5 = T_П \cdot Q_1/Q_2$,

где k_v = 0,95 – коэффициент использования теоретической скорости; $T_П$ = 6 с – время переезда от одного тюка к другому; L_2 – длина прицепа, м; $Q_4 = Q_4 + G_g$ – суммарная гру-

зоподъемность погрузчика G_g – вес захвата (грейферного, вилочного); Q_2 – вес одного тюка, кг (200, 400, 600); Q_1 – вес перевозимого груза, т (10, 20, 30); L_1 – расстояние перевозок, м (3000, 4000, 5000); V – скорость транспортировки, м/с (8, 10, 12).

Универсальные сельскохозяйственные погрузчики относятся к машинам периодического (циклического) действия, цикл которых складывается из захвата груза, переноса к месту выгрузки, освобождение от груза и возврат рабочего органа к погружаемому материалу. Так, например, время цикла погрузки-разгрузки манипулятора НПМ – 0,6 на базе СШ Т-16МГ составляет $T_ц$ = 0,475 ч для средней от номинальной грузоподъемности [76]. Производительность этого агрегата на контейнерной уборке овощей при средней массе контейнера m = 251 кг составляет $П_и$ = 1,4421 т/ч.

Время рабочего цикла для строительных погрузчиков [15]

$$T = \left(\frac{\ell_k}{V_{под}} + \frac{\ell_k}{V_{оп}} + \frac{\ell_{пог}}{V_{п.х.}} + \frac{\ell_{пог}}{V_{з.х}} \right) \varphi + t_{зач} + t_{разв} + t_{пер} + t_{выгр}, \qquad (1.12)$$

где $\ell_k = \alpha R$ – перемещение центра тяжести рабочего органа при его подъеме на max высоту, м; α – угол, образованный стрелой в двух крайних положениях (вертикальный), рад; R – расстояние от центра тяжести рабочего органа до шарнира стрелы, м; $\ell_{пог}$ – перемещение погрузчика при погрузке, м; $\ell_{пог}$ = 10÷15 м для фронтальных; $\ell_{пог}$ = 8÷10 м для перекидных; $V_{под} = (V_{max} + V_{min})/2$ – средняя скорость подъема рабочего органа, м/с; $V_{оп}$ – средняя скорость опускания рабочего органа, м/с; $V_{пх}$, $V_{зх}$ – средняя скорость передвиже-

ния погрузчика соответственно передним и задним ходом, м/с $V_{пх}$ ≈ 0,3-0,7 м/с (меньшее значение для 1 передачи КПП, большее – для 2 передачи); φ = 0,85÷0,9 – коэффициент совмещения операций цикла; $t_{зач}$ – время захвата груза, с.; $t_{разв}$ – время разворотов погрузчика, с.; $t_{пер}$ – время переключения передач, с.;$t_{выгр}$ – время выгрузки груза, с.; $t_{зач}$ ≈ 10÷15 с; $t_{разв}$ ≈ 10 с; $t_{пер}$ ≈ 3÷6 с; $t_{выгр}$ ≈ 5÷7 с.

Для фронтальных погрузчиков общее время цикла T = 50-80 с, для фронтально-перекидных погрузчиков T = 30-60 с [15].

Для погрузчиков с поворотной стрелой время рабочего цикла [15].

$$T = \left(\frac{\ell_k}{V_{под}} + \frac{\ell_k}{V_{оп}} \right) \varphi + t_{зач} + t_{выгр} + 2t_{пов}, \qquad (1.13)$$

где $t_{пов} = \frac{\alpha_{пов}}{\omega}$ – время поворота стрелы, с; $\alpha_{пов}$ – угол поворота стрелы, град.; $\omega = \frac{1}{30}$ – угловая скорость поворота стрелы с$^{-1}$; n = 5÷8 условное число поворотов в минуту.

В подавляющем большинстве $\alpha_{пов}$ составляет 90º, тогда $t_{пов} = \frac{15c}{n}$. Для предварительных расчетов принимают $t_{пов}$ = 2÷5 с. При этом общее время цикла составляет T = 12-25 с.

В формулах определения производительности погрузчиков присутствуют параметры, значения которых как правило не являются постоянными для различных погрузочных операций и определяются экспериментально (опытным путем).

Большинство сельскохозяйственных погрузчиков являются гидрофицированными машинами циклического действия, и время погрузочно-разгрузочных операций для них складывается из нескольких составляющих [137, 139]:

$$t_{оп} = t_{зах} + t_{пер} + t_{поз} + t_{осв} + t_{хп} + t_{опер}, \qquad (1.14)$$

где $t_{зах}$ – время захвата (закрепления) груза; $t_{пер}$ – время полезного перемещения груза в заданную точку; $t_{поз}$ – время позиционирования, включающее ожидание затухания свободных колебаний груза на подвесе; $t_{осв}$ – время освобождения груза от рабочего органа (захвата, крюка); $t_{хп}$ – время холостого перемещения рабочего органа для подготовки к последующей операции (перевод погрузчика в рабочее или транспортное положение); $t_{опер}$ – время ошибок оператора и запаздывание его реакции.

Сменную производительность погрузчика циклического действия, занятого на переработке различных грузов, предлагается определять как:

$$П_{см} = \frac{\sum_{i=1}^{n} G_i}{\sum_{i=1}^{n} t_{оп_i} + t_{пр}}, \qquad (1.15)$$

где G_i – масса груза на i-й операции; n – число операций погрузки-разгрузки за смену; $t_{оп i}$ – время i-й операции; $t_{пр}$ – суммарное время простоев погрузчика за смену.

Одним из способов повышения производительности погрузочного агрегата может быть выработка оптимальных режимов погрузочных операций и их планирование, направленное на уменьшение суммарного времени простоев погрузчика за смену $t_{пр}$ и время холостого перемещения рабочего органа $t_{хп}$. С энергетической точки зрения

важны показатели нагруженности гидропривода погрузочного агрегата и соответственно время работы двигателя и время работы гидропривода на различных этапах технологических операций в течение смены [139].

Анализ показывает, в отечественных сельскохозяйственных погрузчиках и погрузочных манипуляторах практически не используются средства повышения безопасности эксплуатации, минимальны средства контроля технологических параметров, вследствие чего актуальна задача разработки средств автоматизации, контроля эксплуатационно-технологических параметров и средств контроля безопасной эксплуатации.

Для практического использования в системе мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата следует определить коэффициенты использования погрузочного агрегата опытным путем, также следует уточнить составляющие времени цикла технологической операции погрузки-разгрузки.

Разнообразие погрузочных средств для работы со штучными грузами требует разработки универсальных систем мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и средств контроля безопасной эксплуатации, способных эффективно применяться на различных моделях сельскохозяйственных погрузчиков и погрузочных манипуляторов.

2. КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОГРУЗОЧНОГО АГРЕГАТА

2.1. Обоснование структуры и параметров бортовой информационной системы сельскохозяйственного погрузочного агрегата

Измерительная система погрузочного агрегата (манипулятора), работающая в меняющихся условиях эксплуатации, часто непредсказуемых, и взаимодействующая с человеком-оператором и внешними объектами является частью человеко-машинной системы.

Измерительная система может быть рассмотрена с точки зрения метрологии – науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности [102].

Как отмечается в работе [40, 51], задача управления мобильным объектом складывается из нескольких подзадач: глобальное управление движением погрузочного агрегата (движение к грузу), локальное (региональное) движение – позиционирование груза или грузозахватного органа и мониторинг текущего состояния груза и рабочей зоны.

Мониторинг состояния погрузочного агрегата и выполняемых агрегатом технологических процессов предпо-

лагает:

1. Получение информации непосредственно с датчиков;

2. Комплексирование информации от датчиков посредством программно-аппаратных средств с целью формирования необходимых эксплуатационных и технологических показателей;

3. Принятие решения оператором о дальнейших действиях (движении, остановке, перемещению груза и т. п.);

4. Управление исполнительными звеньями погрузочного манипулятора на основе принятых решений.

Из всех описанных этапов с технической точки зрения наиболее сложным является третий – комплексирование информации. Последнее напрямую зависит от количества и точности датчиков и алгоритмов обработки информации. А так как принятие решения оператором о его действиях основывается на получаемой информации о состоянии и положении погрузочного агрегата и груза, то выдаваемая информация должна быть исчерпывающей и не двузначной, позволяющая принимать конкретные решения с целью выполнения технологического процесса погрузки-разгрузки и исключающая аварийные и предаварийные ситуации.

Проведенный выше в гл. 1 (разд. 1.2 и 1.3) анализ систем автоматизации (СА) сельскохозяйственных машин и агрегатов позволил сформировать основные функции и назначение СА [59, 69, 79, 81, 103, 115, 125].

Назначение:

- контроль на рабочих местах оператора и диспетчера текущих эксплуатационно-технологических параметров процесса и агрегата в режиме реального времени;

- выявление и сигнализация аварийных и предаварийных ситуаций;

- обеспечение эффективности, надежности и экономичности работы машин занятых в технологических процессах сельскохозяйственного производства.

Информационные функции:

- сбор и отображение на рабочих местах оператора и диспетчера текущих эксплуатационно-технологических параметров;

- накопление и хранение эксплуатационно-технологических параметров с возможностью формирования отчетов о работе агрегатов и технологическом процессе.

Функции сбора данных:

- периодический (циклический) опрос сигналов от датчиков-измерителей параметров технологического процесса;

- опрос состояния технологического оборудования в процессе работы с целью выявления аварийных и предаварийных ситуаций;

- преобразование, накопление и обработка данных, полученных от датчиков – измерителей параметров технологического оборудования.

На основе описанных функций и исходя из ранее проведенного анализа систем автоматизации и контроля сельскохозяйственной техники сформируем функции и структуру предлагаемой комплексной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и контроля безопасной эксплуатации погрузочного агрегата (табл. 2.1).

Разработанная комплексная система мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и контроля

Таблица 2.1

Функции разрабатываемой системы мониторинга

Регистрируемый параметр	Единица измерения	Контролируемый параметр	Действие бортовой информационной системы
Время работы двигателя, гидропривода и других механизмов	с	Время работы отдельных систем и механизмов	Регистрация времени работы отдельных систем и механизмов
Скорость движения с грузом и без груза	м/с	Технологические и холостые переезды	Регистрация времени и скорости движения
Время стоянки с грузом и без груза	с	Стоянка/простой	Регистрация времени стоянки/простоя
Вес груза	кг	Объем грузопереработки	Регистрация веса груза и объема грузопереработки
Давление на опоры манипулятора	кН	Реакции опор (аутригеров)	Вывод информации оператору об устойчивости агрегата
Угол крена погрузчика	рад	Крен и тангаж	
Давление в гидросистеме	МПа	Текущее давление в гидросистеме	Регистрация давления, расчет среднего, минимального и максимального значения, определение затрачиваемой мощности

устойчивости погрузочного агрегата состоит из нескольких подсистем (рис. 2.1): система мониторинга эксплуатационно-технологических параметров работы погрузочного агрегата; система контроля давления и перегрузок в гидроприводе; система контроля устойчивого положения погрузочного агрегата.

Каждая подсистема может работать как самостоятельная система или как единая комплексная система погрузочного агрегата. Основные регистрируемые параметры приведены в табл. 2.1. Включение двигателя погрузоч-

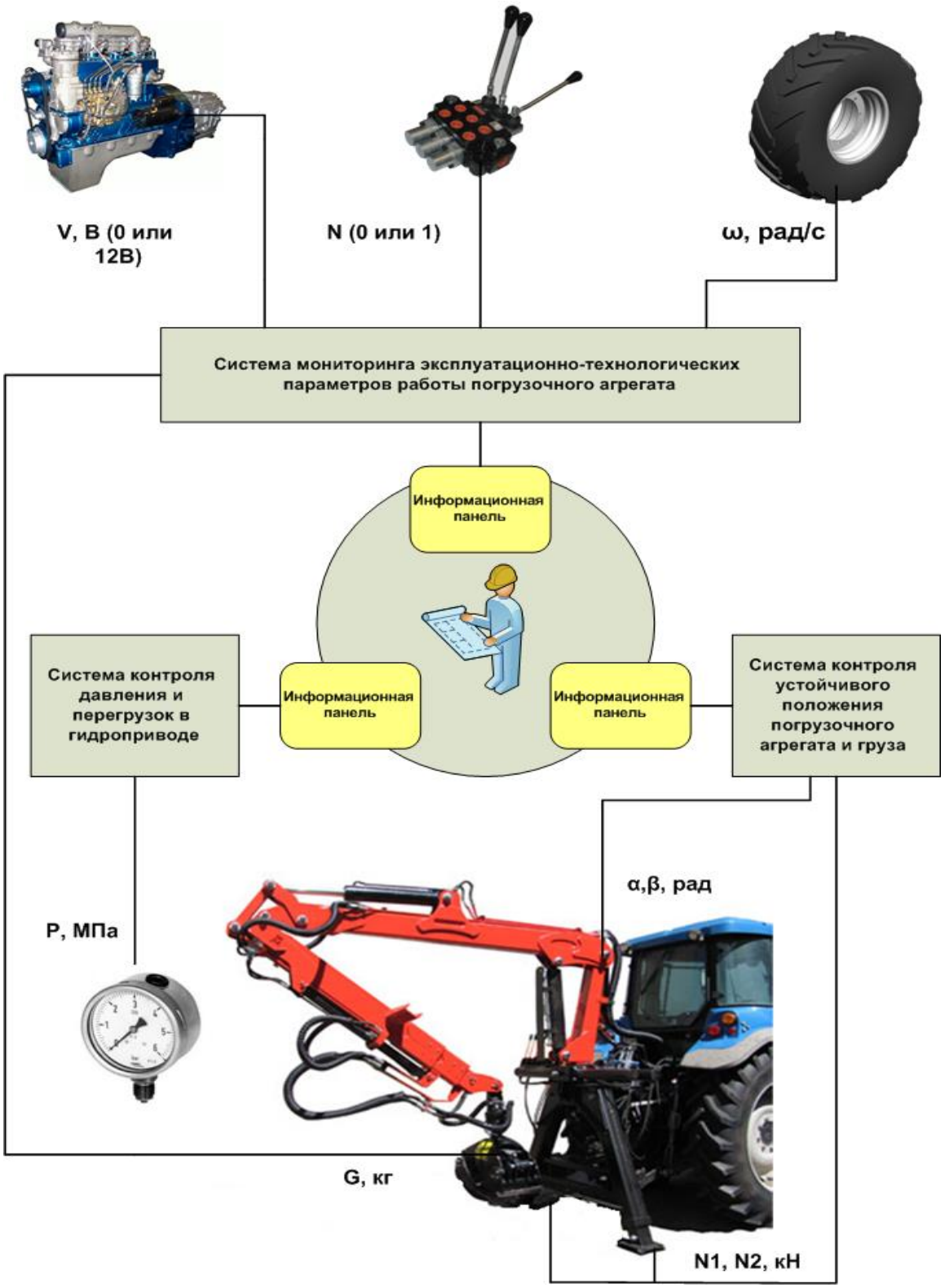


Рис. 2.1. Структура комплексной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и контроля безопасной эксплуатации погрузочного агрегата

ного агрегата фиксируется при появлении устойчивого напряжения на клеммах генератора, включение гидропри-

вода фиксируется по замыканию контактов переключателя, кинематически связанного с рукоятью гидрораспределителя, причем каждая рукоять имеет свой переключатель. Для некоторых погрузочных агрегатов возможен вариант регистрации включения гидропривода при включении гидронасоса, такая возможность есть, например, на самоходном шасси Т-16МГ. Движение мобильного погрузчика может регистрироваться датчиками угловой скорости или частоты вращения, при этом могут использоваться индуктивные датчики, магнитно-герконовые, оптронные, тахогенераторы и др. В нашем случае используется оптопара: ИК светодиод – ИК фотодиод. Контроль давления в гидросистеме оценивается по показаниям датчиков давления, это могут быть как тензометрические, пьезоэлектрические так и реохордные. В разработанной системе используется датчик давления МД-150 реохордного типа, точность его несколько ниже тензометрического, но для контроля давления в гидроприводе является приемлемым. Для определения устойчивости погрузочного агрегата регистрируется его положение в пространстве, а точнее угол наклона в продольной плоскости – тангаж и угол наклона в поперечной плоскости – крен. Для этих целей используются датчики угла наклона: гироскопические, механические (маятниковые, шариковые и др.). Гироскопические датчики положения ненамного дороже механических, однако требуют программной обработки сигнала посредством микрокомпьютеров, поэтому с целью удешевления конструкции и упрощения обслуживания системы выбор пал на маятниковые датчики угла наклона.

Реакции на опорах и усилие на крюковой подвеске (вес груза) регистрируются посредством тензометрических датчиков.

Все сигналы от датчиков обрабатываются микроконтроллером и выдаются на информационные панели. Применение маятниковых датчиков углов положения погрузочного агрегата позволяет без предварительной обработки сигналов сразу выводить значения углов наклона погрузчика или погрузочного агрегата на информационную панель.

2.2. Система мониторинга эксплуатационно-технологических параметров работы погрузочного агрегата

Эффективность использования погрузочно-разгрузочной техники в сельском хозяйстве, как правило, оценивается по объему грузопереработки за час, смену, сезон и оценивается по количеству погруженных или разгруженных грузов на конечных пунктах. Однако универсальные погрузчики могут использоваться в течение смены на разных работах и с разными грузами. Отсутствие точного учета грузопереработки одним погрузочным агрегатом снижает эффективность его рационального применения, усложняет учет энергозатрат на операцию и оптимального использования на различных технологических операциях разгрузки-погрузки [52, 53].

Мониторинг грузопереработки отдельного погрузочного агрегата, возможный только при использовании информационных систем, получающих данные от датчиков

грузоподъемности, скорости перемещения агрегата, счетчиков грузопереработки, позволит рационально планировать погрузочно-разгрузочные операции и оптимизировать технологические процессы в АПК.

Регистрируемое время различных этапов при выполнении технологического процесса погрузочным агрегатом позволяет определить коэффициент загруженности погрузочного агрегата, его фактическую производительность и эффективность использования на конкретной технологической операции (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Регистрируемые эксплуатационно-технологические показатели работы погрузочного агрегата

Регистрируемый эксплуатационный показатель (параметр)	Обозначение
Время работы двигателя погрузочного агрегата	T_1
Время простоя погрузочного агрегата при включенном двигателе	T_2
Время работы гидропривода	T_3
Средняя скорость при движении погрузочного агрегата	V_{cp}
Время движения агрегата	T_4
Пройденный погрузочным агрегатом путь	S
Время движения погрузочного агрегата с грузом	T_5
Время нагруженного грузом рабочего оборудования	T_6

На основе регистрируемых параметров рассчитываются показатели эффективности использования погрузочного агрегата на конкретном виде работ (табл. 2.3).

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс мониторинга работы погрузочного агрегата построен по блочно-модульному принципу, где каждый функциональный блок может использоваться как автономно, так и интегрироваться с другими блоками-модулями (рис. 2.2) [65, 71, 95].

Таблица 2.3

Расчетные эксплуатационно-технологические показатели работы погрузочного агрегата

Расчетный показатель эффективности использования погрузочного агрегата	Формула
Коэффициент использования гидропривода погрузочного агрегата	$K_1 = T_3/T_1$
Время холостого позиционирования рабочего оборудования	$T_7 = T_3 - T_6$
Время холостых переездов и переезды к месту (от места) работ	$T_8 = \lvert T_4 - T_5 \rvert$
Коэффициент полезного использования погрузочного агрегата на погрузочно-разгрузочных (погрузочно-транспортных) работах	$K_2 = T_6/T_3$
Коэффициент простоя агрегата	$K_3 = T_2/T_1$

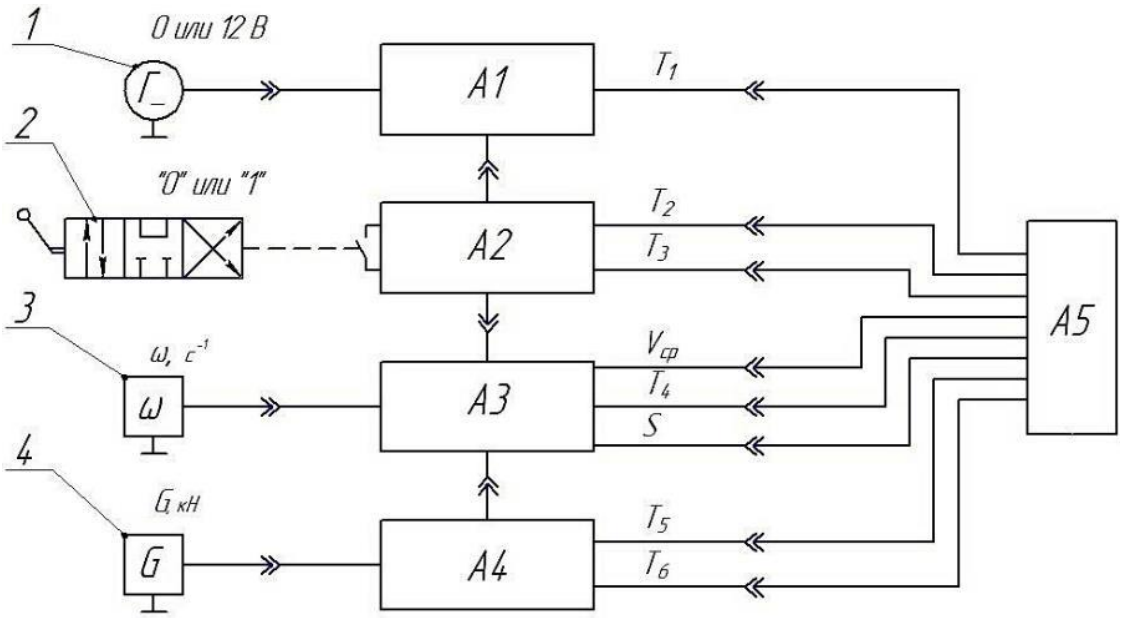


Рис. 2.2. Блочно-модульная структура системы мониторинга работы погрузочного агрегата

Блок *A1* (см. рис. 2.2) регистрирует время работы двигателя T_1 на основе сигнала от генератора 1, т. е. таймер включается как только появляется напряжение на клеммах генератора. Рукоять гидрораспределителя 2 кинематически связана с контактами включателя блока *A2*, который фиксирует время работы гидропривода T_3 при замыкании контактов и время простоя погрузочного агрегата при вклю-

ченном двигателе T_2 в нейтральном положении золотника гидрораспределителя. Причем для регистрации времени простоя агрегата T_2 совместно используются блоки A_1 и A_2. На валу колеса трактора, агрегатирующего погрузочный манипулятор, установлен датчик угловой скорости 3, сигнал от которого поступает на блок *A3*, который регистрирует время движения агрегата T_4, вычисляет пройденный погрузочным агрегатом путь *S* и среднюю скорость при движении погрузочного агрегата $V_{ср}$. От датчика грузоподъемности 4, размещенного на крюковой подвеске, сигнал поступает на блок *A4*, регистрирующий время нагруженного грузом рабочего оборудования T_6 и время движения погрузочного агрегата с грузом T_5, последний параметр регистрируется посредством совместной работы блоков *A3* и *A4*. Все параметры обрабатываются и сохраняются в блоке *A5*, а при необходимости выводятся на сегментный индикатор.

Блоки *A1, A2, A3, A4* и *A5* могут интегрироваться друг с другом и работать как единая система, но могут работать и автономно друг от друга, однако при этом функциональность некоторых блоков может снижаться. Блок *A1* полностью автономный и интегрируется с блоками *A2* и *A5*. Блок *A2* интегрируется с *A1*, *A3* и *A5*, при отсутствии блока *A3* будет невозможна регистрация времени простоя погрузочного агрегата. Блок *A3* полностью автономен и интегрируется с блоками *A2*, *A4* и *A5*. Блок *A4* интегрируется с *A3* и *A5*, при отсутствии блока *A3* регистрирует только время нагруженного грузом рабочего оборудования.

Более подробная функциональная схема системы мониторинга работы погрузочного агрегата приведена на рис. 2.3.

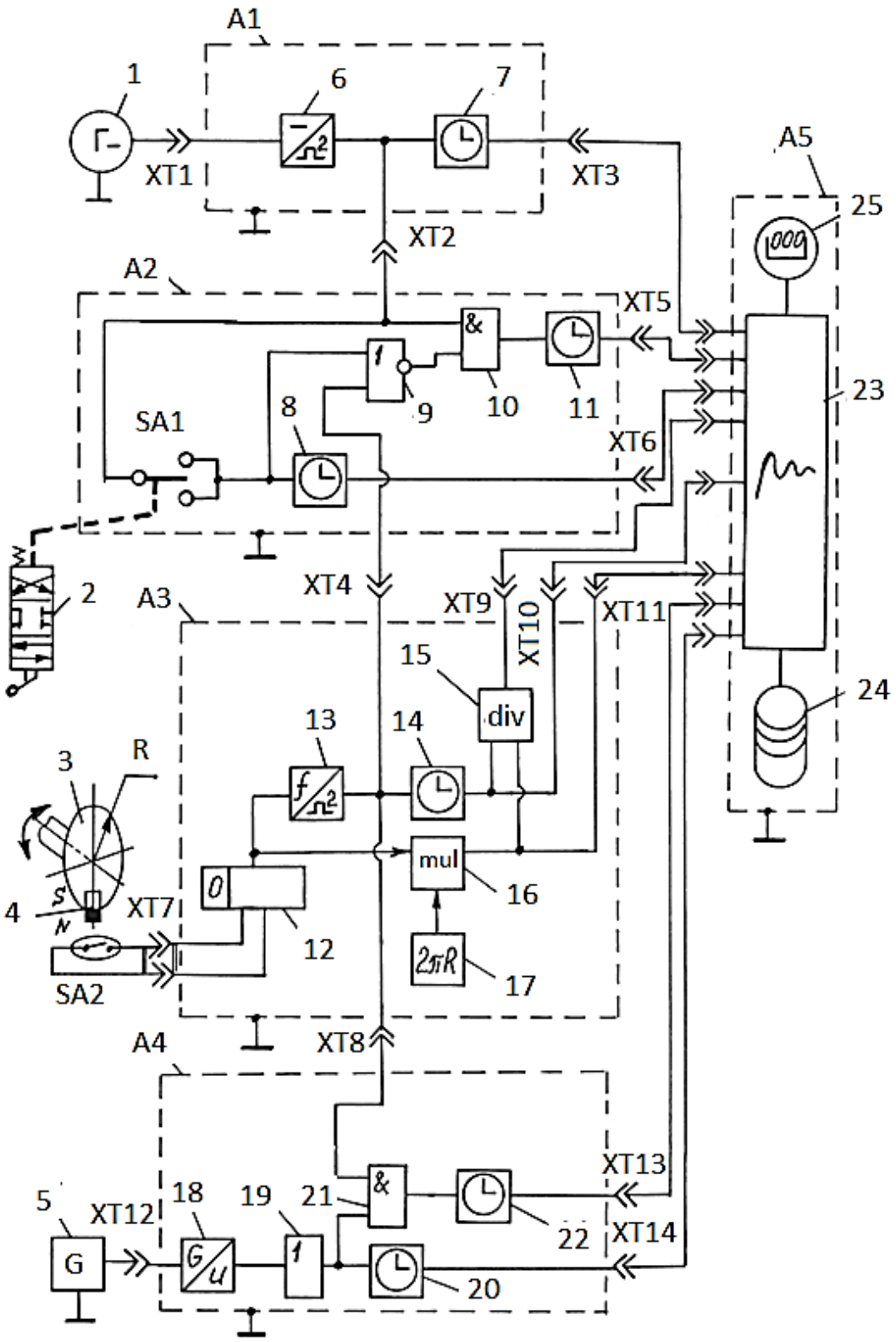


Рис. 2.3. Функциональная схема системы мониторинга работы погрузочного агрегата

К блоку *А*1 (см. рис. 2.3) подключен генератор 1 двигателя через разъем *ХТ*1, блок *А*1 связан с блоком *А*2 посред-

ством разъема *XT*2 и с блоком *A*5 посредством разъема *XT*3. Блок *A*2 имеет двухпозиционный переключатель *SA*1, связанный механически с гидрораспределителем 2, блок *A*2 в свою очередь подключен к блоку *A*3 через разъем *XT*4 и связан с блоком *A*5 через разъемы *XT*5 и *XT*6. К блоку *A*3 через разъем *XT*6 подключен магнитоуправляемый герметизированный контакт *SA*2, который установлен близ обода 3 какого-либо колеса радиусом *R* погрузочного агрегата, на ободе размещен постоянный магнит 4.

Блок *A*3 через разъем *XT*8 подключен к блоку *A*4 и через разъемы *XT*9, *XT*10 и *XT*11 к блоку *A*5. К блоку *A*4 через разъем *XT*12 подключен датчик грузоподъемности 5, с блоком *A*5 блок *A*4 соединен посредством разъемов *XT*13, *XT*14. Корпуса всех блоков, датчиков и генератора соединены между собой общим проводом – "массой".

Блок *A*1 состоит из преобразователя 6 постоянного тока в двоичный сигнал и таймера 7. Блок *A*2 состоит из таймера 8, логического элемента "ИЛИ-НЕ" 9, логического элемента "И" 10 и таймера 11. Блок *A*3 состоит из счетчика импульсов 12, преобразователя частоты в двоичный сигнал 13, таймера 14, вычислительных блоков 15, 16 и регистра памяти 17. Блок *A*4 состоит из преобразователя веса в напряжение 18, буферного повторителя 19, таймера 20, логических элементов "И" 21 и 22. Блок *A*5 состоит из прибора непрерывной регистрации 23, накопителя информации 24 и информационной панели 25.

При запуске двигателя погрузочного агрегата генератор 1, подключенный к блоку *A*1 через разъем *XT*1, вырабатывает постоянный ток, который в преобразователе 6

преобразовывается в двоичный сигнал, при отсутствии тока преобразователь 6 выдает логическое состояние "0", при протекании тока – состояние "1". При логическом состоянии "1", поступающем на вход таймера 7, таймер включается и пока двигатель работает таймер отсчитывает время работы двигателя погрузочного агрегата, сигнал текущего значения которого поступает на блок *A*5 через разъем *XT*5 на прибор регистрации 23, одновременно сохраняясь на накопителе информации 24 и отображается на информационной панели 25.

При включении гидропривода погрузочного агрегата посредством распределителя 2 контакты переключателя *SA*1 замыкаются, логический сигнал "1" от преобразователя 6 включает таймер 8, который начинает регистрировать время позиционирования исполнительного оборудования погрузочного агрегата, как только контакты переключателя *SA*1 разомкнуться (выключение гидропривода распределителем 2) на вход таймера 8 поступит логический сигнал "0" – таймер 8 отключится. При периодическом включении распределителя 2 и соответственно переключателя *SA*1 таймер 8 будет суммировать время работы гидропривода погрузочного агрегата.

Когда погрузочный агрегат начинает движение, колесо 3 начинает вращаться, постоянный магнит 4 периодически проходит мимо магнитоуправляемого герметизированного контакта *SA*2, посредством которого цепь замыкается, счетчик импульсов 12 начинает записывать количество замыканий с частотой вращения колеса. В регистре памяти 17 хранится константа, равная $2\pi R$ – длине обода

колеса. В блоке 16 число оборотов колеса, полученное от датчика 12, перемножается на содержимое регистра памяти 17, в результате чего на блок *A*5 через разъем *XT*11 поступает текущее значение пройденного пути погрузочным агрегатом. Частота вращения колеса от счетчика импульсов 12 поступает в преобразователь частоты в двоичный сигнал 13, при ненулевом значении частоты вращения колеса на таймер 14 поступает логический сигнал "1", тем самым включая его. Таймер 14 начинает регистрировать время движения погрузочного агрегата, текущее значение которого через разъем *XT*10 поступает в блок *A*5, где записывается и отображается на информационной панели 25. В блок 15 поступает сигнал от блока 16 (пройденный путь) и от блока 14 (время движения погрузочного агрегата) где происходит вычисление средней скорости погрузочного агрегата путем деления сигнала от блока 16 на сигнал от блока 14. Полученное текущее значение скорости в виде электрического аналогового сигнала поступает через разъем *XT*9 в блок *A*5.

В случае, когда погрузочный агрегат стоит на месте, счетчик импульсов 12 не выдает сигнал и на выходе преобразователя частоты 13 устанавливается логическое состояние "0", которое посредством разъема *XT*4 передается на нижний вход логического элемента "ИЛИ-НЕ" 9 и если в этот же момент контакты переключателя *SA*1 разомкнуты, т. е. гидрораспределитель находится в нейтральном положении (гидропривод не работает), то и на верхний вход логического элемента 9 поступает логический сигнал "0". Тогда на выходе логического элемента 9 устанавлива-

ется логическое состояние "1", поступающее на нижний вход логического элемента "И" 10. При работающем двигателе на верхний вход логического элемента 10 от преобразователя 6 через разъем *XT*2 поступает логический сигнал "1". Как только на входах логического элемента 10 будут установлены логические состояния "1" на выходе также будет установлено логическое состояние "1" и тогда таймер 11 включится и начнет регистрировать время простоя погрузочного агрегата, которое как и все другие параметры поступит в блок *A*5.

Если рабочий орган погрузочного агрегата захватит груз (либо груз будет навешен на крюковую подвеску) от датчика 5 сигнал поступит через разъем *XT*12 на преобразователь 18, который в свою очередь выдаст напряжение, поступающее на вход буферного повторителя 19, при этом на выходе его установится логическое состояние "1", сигнал от буферного повторителя включит таймер 20, который начнет регистрировать время нагруженного грузом рабочего оборудования погрузочного агрегата. Сигнал с выхода буферного повторителя 19 поступает на нижний вход логического элемента 21, а на верхний вход сигнал поступает через разъем *XT*8 от преобразователя частоты в двоичный сигнал 13. Если на входах логического элемента 21 установятся логические состояния "1", то и на выходе тоже будет состояние "1", тогда сигнал от логического элемента 21 включит таймер 22, который начнет регистрировать время движения погрузочного агрегата с грузом.

Блоки *A*1, *A*2, *A*3, *A*4 и *A*5 могут интегрироваться друг с другом и работать как единая система, но могут рабо-

тать и автономно друг от друга, однако при этом функциональность некоторых блоков может снижаться.

2.3. Оценка устойчивости погрузочного агрегата и положений его отдельных звеньев

Возрастание линейных размеров, масс, моментов инерции и других механических параметров машин, а также скоростей движения агрегатов приводит к существенному изменению их динамических качеств. Агрегат в ряде случаев приобретает свойства механической колебательной системы, и его движение становится менее устойчивым. Устойчивое движение агрегата может быть достигнуто путем выбора целесообразных значений механических параметров всех его звеньев (масс, моментов инерции и т. п.) для заданных условий работы агрегата (скоростей движения, сил сопротивления рабочих органов и т. п.) [36].

Как правило, устойчивость погрузочных манипуляторов (тракторных, автомобильных) обеспечивается установкой выносных опор. В работе [113] предложена и обоснована многоопорная система погрузочного тракторного агрегата, где нагрузка распределяется между аутригерами и опорными колесами тракторного шасси.

При установке навесного фронтального погрузчика на агрегатирующий его трактор, например, колесный, центр масс агрегата смещается, а при погрузочно-разгрузочных работах изменение положения центра масс агрегата особенно чувствительно при перемещении с грузом. Для определения нагрузок, действующих на оси трактора

составляют уравнения моментов относительно точек A и B (рис. 2.4) [106]:

$$\sum M_B = 0;\ G_1 l_1 + G_2(l_1 + l_2) + G_3(l_1 + l_3) = N_A l \qquad (2.1)$$

$$\sum M_A = 0;\ -G_1(l - l_1) - G_2(l - l_1 - l_2) + G_3(l_1 + l_3 - l) = N_B l. \qquad (2.2)$$

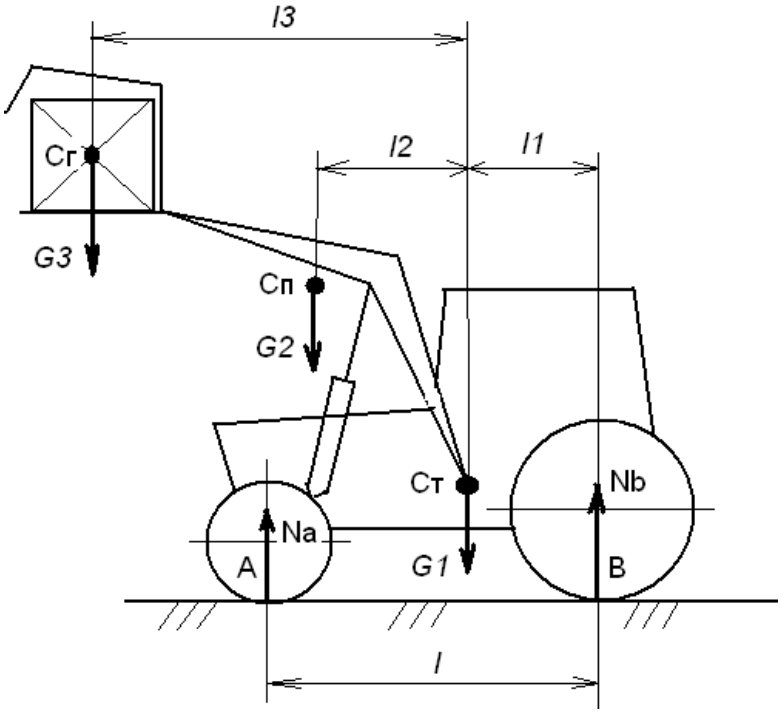


Рис. 2.4. К определению центра масс погрузчика: $C_Т$ – центр масс трактора; $C_П$ – центр масс погрузчика; $C_Г$ – центр масс груза; A и B – опорные точки трактора

При постоянных l_1, l и принятии l_2за постоянную, а также зная G_1, G_2 и G_3 можно определить реакции N_A и N_B для любого положения груза l_3.

Для стреловых погрузчиков и манипуляторов определение реакций на агрегатирующий трактор аналогично фронтальным, однако для погрузчиков с поворотной стрелой необходимо оценивать реакции на каждое опорное колесо, при этом уравнения моментов составляются как в продольной, так и в поперечной плоскости, т. е. рассматривается пространственная система. При наличии в конструкции манипулятора ограничителя грузового момента вес груза, поднимаемого стрелой, не является постоянным для данного манипулятора, а зависит от вылета стрелы.

На любом новом вылете l_x стрелы (рис. 2.5) вес груза G_x зависит от веса элементов стрелы G_i и определяется на основании закона сохранения постоянства грузового момента по формуле:

$$G_x = \frac{G(L+l) - \sum_{i=1}^{n} G_i(L_i + l)}{L_x + l}, \quad (2.3)$$

где G – вес груза на вылете L; l – расстояние от оси вращения стрелы до оси вращения автокрана; L_i – вылет весов элементов стрелы в новом положении стрелы; n – количество звеньев стрелы.

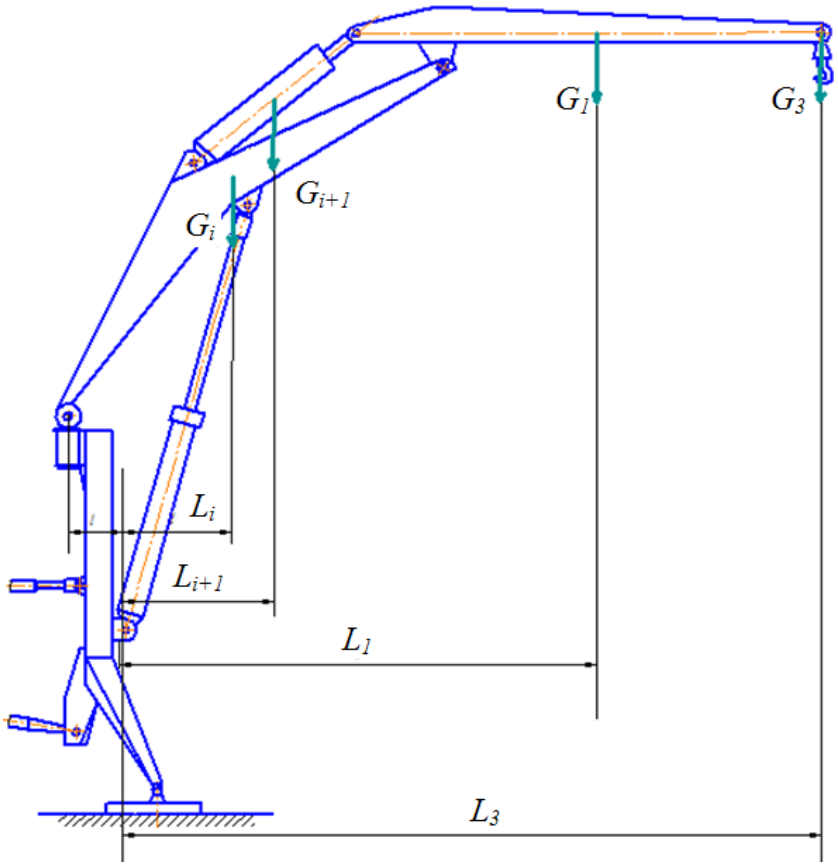


Рис. 2.5. К определению грузового момента

Вес груза на вылете L является паспортным значением манипулятора.

Задаваясь различными положениями стрелы и определяя графически вылеты груза и весов элементов стрелы от

оси вращения стрелы, по формуле (2.3) определяют ряд значений весов, которые можно поднимать безопасно стрелой манипулятора. По этим данным строят грузовую характеристику манипулятора, выражающую зависимость веса груза и вылета стрелы и веса ее элементов (рис. 2.6, кривая 1). На основании данных грузовой характеристики определяют реакции в шарнирах стрелы и усилия в ее звеньях.

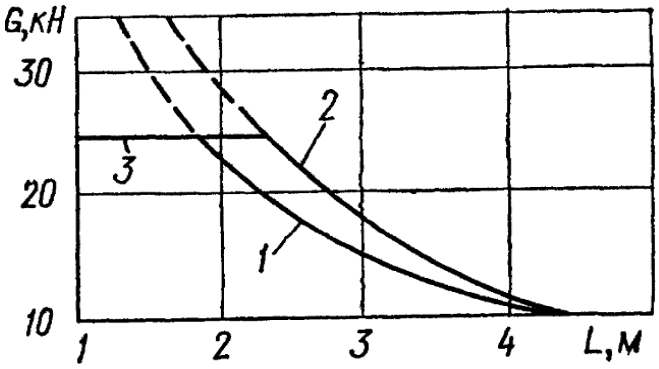


Рис. 2.6. Грузовая характеристика: 1 – с учетом веса звеньев; 2 – без учета веса звеньев; 3 – ограничительная (штриховыми линиями обозначены недопустимые при работе характеристики)

При определении грузовой характеристики манипулятора без учета веса его звеньев можно пользоваться упрощенной формулой для расчета веса груза на разных вылетах стрелы без учета веса ее звеньев:

$$G_x = \frac{G(L+l)}{L_x + l}. \qquad (2.4)$$

График этой зависимости изображен на рис. 2.6 (кривая 2). Обычно грузовую характеристику ограничивают предельным весом груза, больше которого манипулятор поднимать не может по условиям прочности и работоспособности его узлов и деталей, а также его устойчивости (на рис. 2.6, кривая 3).

Устойчивость манипулятора включает грузовую и собственную устойчивость и определяется для рабочего состояния манипулятора. Следует отметить, что при рас-

чете на устойчивость стреловых погрузчиков и манипуляторов учитывают их особенность управления, а в частности невозможность совмещения операций, например, подъем и поворот и работы манипулятора только на выносных опорах. То есть обеспечение устойчивости погрузочного агрегата может накладывать ограничения на управление несколькими степенями подвижности одновременно, что негативно сказывается на производительности погрузочного агрегата.

Важным эксплуатационным показателем погрузочных агрегатов является поперечная и продольная устойчивость, обеспечение которой является обязательным условием безопасной эксплуатации погрузочного агрегата.

Устойчивость манипулятора в поперечном направлении определяют следующим образом. В качестве ребра опрокидывания манипулятора принимают линию, параллельную его продольной оси и проходящую через центр площадки, на которую опирается выносная опора (рис. 2.7).

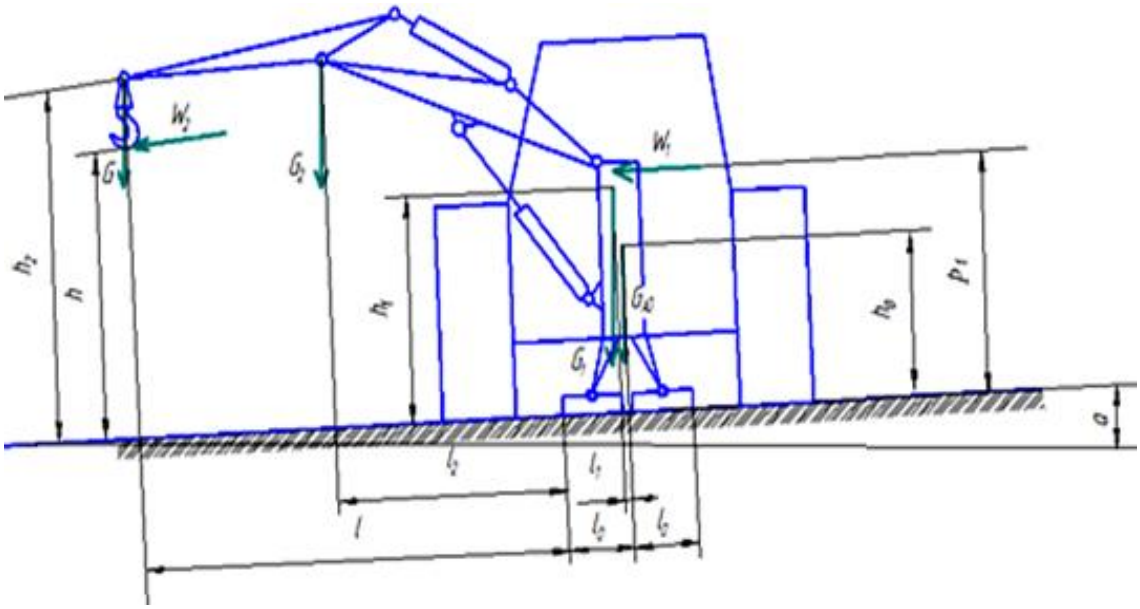


Рис. 2.7. К определению поперечной устойчивости

Коэффициент грузовой устойчивости K_{11} определяется как отношение удерживающего момента относительно ребра опрокидывания, создаваемого весом автокрана с учетом уменьшающих его дополнительных нагрузок (ветровых, инерционных) и влияния уклона площадки, к опрокидывающему моменту, создаваемому рабочим грузом. Он должен удовлетворять условию

$$K_{11} = \frac{1}{G(l\cos\alpha + h\sin\alpha)}\Big\{ G_{AO}(l_0\cos\alpha - h_0\sin\alpha) + G_1\left[(l_0 - l_1)\cos\alpha - h_1\sin\alpha\right] -$$

$$- G_2(l_2\cos\alpha + h_2\sin\alpha) - \omega\rho - \omega_1\rho_1 - \omega_2 h - \frac{\delta_1 nLh}{900 - n^2 H}\left[Gn\sin\beta + \frac{66(G + G_{np})\delta_0}{gt_1}\right] -$$

$$- \frac{\delta_2(G + G_{np})}{gt_2}\left[\upsilon_1 h + \upsilon_2(l\cos\alpha + h\sin\alpha)\right] \Big\} \geq 1{,}15, \qquad (2.5)$$

где G – вес поднимаемого стрелой груза; G_{AO} – вес трактора без учета веса груза и веса переднего и заднего мостов; G_1 – вес кранового оборудования без учета веса стрелы; G_2 – вес стрелы; $G_{пр}$ – вес стрелы, приведенный к точке подвеса груза; ω, ω_1, ω_2 – ветровая нагрузка соответственно для трактора, кранового оборудования и груза, действующая перпендикулярно к ребру; α – угол наклона площадки, α = 3°; β – угол между ребром опрокидывания и проекцией оси стрелы на опору; g – ускорение силы тяжести; n – частота вращения стрелы в 1 мин; υ_1 ,υ_2 – скорости соответственно горизонтального и вертикального перемещения точки подвеса груза при подъеме (опускании) стрелы; t_1, t_2 – время неустановившихся режимов работы (пуск, торможение) соответственно механизмов поворота и подъема (опускания) стрелы; H – длина подвеса, измеряемая расстоянием от центра тяжести груза до точки его подвеса; L – вылет стрелы, $L = l + l_0 - l_1$;l, l_0, l_1, l_2, h, h_0,

h_1, ρ, ρ_1 – обозначения геометрических величин (см. рис. 2.7), соответствующих положению стрелы перпендикулярно к ребру опрокидывания; δ_0, δ_1, δ_2 – коэффициенты, принимающие значение 0 или 1.

Коэффициент грузовой устойчивости с учетом дополнительных нагрузок определяют по формуле (2.7) при наибольшем вылете стрелы для двух ее положений: угол между проекцией оси стрелы на опору и ребром опрокидывания β = 90°, работает только механизм поворота стрелы, δ_1 = 1, $\delta_0 = \delta_2 = 0$; β = 45°, работает только механизм подъема (опускания) стрелы, $\delta_1 = 0$, $\delta_2 = 1$. Для этого положения стрелы учитывают только работу механизма поворота манипулятора и коэффициент устойчивости определяют по формуле (2.5) при $\delta_0 = \delta_1 = 1$, $\delta_2 = 0$.

Значения ветровых нагрузок ω_1, ω_2, действующих на манипулятор и груз, различны для различных положений стрелы.

Коэффициент грузовой устойчивости без учета дополнительных нагрузок K_{21} определяют при наибольшем вылете стрелы, расположенной перпендикулярно к ребру опрокидывания. Он должен удовлетворять условию

$$K_{21} = \frac{G_{AO} l_0 + G_1 (l_0 + l_1) - G_2 l_2}{Gl} \geq 1{,}4. \qquad (2.6)$$

Коэффициент собственной устойчивости манипулятора K_{31} определяют для наиболее неблагоприятного положения манипулятора относительно действия рабочей ветровой нагрузки как отношение удерживающего момента, создаваемого относительно ребра опрокидывания весом манипулятора с учетом уменьшающего влияния

уклона площадки, к опрокидывающему моменту, создаваемому ветровой нагрузкой относительно того же ребра опрокидывания. Коэффициент собственной устойчивости должен удовлетворять условию

$$K_{31} = \frac{1}{\omega\rho + \omega_1\rho_1}\{ \; G_{AO}(l_0\cos\alpha - h_0\sin\alpha) + G_1[\; (l_0 - l_1)\cos\alpha - h_1\sin\alpha \;] -$$

$$- G_2(l_2\cos\alpha + h_2\sin\alpha) \; \} \geq 1{,}15. \qquad (2.7)$$

В этом случае плечо нагрузки G_2 относительно ребра опрокидывания равно $l_2\cos\alpha + h_2\sin\alpha$, причем положительное значение его соответствует положению манипулятора, показанному на рис. 2.7.

Устойчивость манипулятора в продольном направлении определяют так же, как и в поперечном, для номинального груза при наибольшем вылете стрелы и выставленных выносных опорах.

Коэффициент грузовой устойчивости с учетом дополнительных нагрузок должен удовлетворять условию

$$K_{12} = \frac{1}{G(l\cos\alpha + h\sin\alpha)}\{ \; R_{AO}B - G_{AO}h_0\sin\alpha + G_1(l_1\cos\alpha - h_1\sin\alpha) - G_2(l_2\cos\alpha + h_2\sin\alpha) -$$

$$-\omega\rho - \omega_1\rho_1 - \omega_2 H - \frac{\delta_1 n(l + l_1)h}{900 - n^2 H}\left[Gn\sin\beta + \frac{66(G + G_{пр})\delta_0}{gt_1} \right] -$$

$$- \frac{\delta_2(G + G_{пр})}{gt_2}\left[\upsilon_1 h + \upsilon_2(l\cos\alpha + h\sin\alpha)\right] \; \} \geq 1{,}15, \qquad (2.8)$$

где R_{AO} – вес трактора, приходящийся на переднюю ось, без учета веса груза и переднего моста (при отсутствии его блокировки); β – угол между ребром опрокидывания и проекцией оси стрелы на опору.

Коэффициент грузовой устойчивости без учета дополнительных нагрузок

$$K_{22} = \frac{R_{AO}B + G_1 l_1 - G_2 l_2}{Gl} \geq 1,4. \qquad (2.9)$$

Коэффициент собственной устойчивости

$$K_{32} = \frac{1}{\omega\rho + \omega_1\rho_1}\Big[\ R_{AO}B - G_{AO}h_0 \sin\alpha + G_1(l_1\cos\alpha - h_1\sin\alpha) -$$

$$- G_2(l_2\cos\alpha + h_2\sin\alpha)\ \Big] \geq 1{,}15. \qquad (2.10)$$

В этом случае плечо нагрузки G_2 относительно ребра опрокидывания равно $l_2 cos\alpha + h_2 sin\alpha$.

Если манипулятор расположен сзади трактора, в качестве ребра опрокидывания принимается линия, проходящая через опорный контур выносных опор (рис. 2.8).

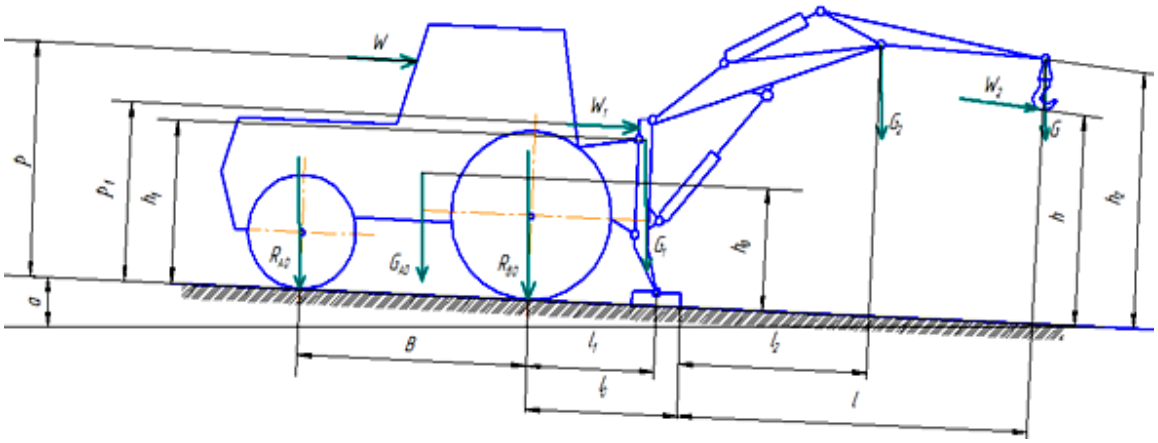


Рис. 2.8. К определению продольной устойчивости

Коэффициент грузовой устойчивости с учетом дополнительных нагрузок при номинальном грузе и наибольшем вылете стрелы

$$K_{13} = \frac{1}{G(l\cos\alpha + h\sin\alpha)}\Big\{\ R_{AO}(B + l_0) + R_{BO}l_0 - G_{AO}h_0\sin\alpha + G_1\left(l_1\cos\alpha - h_1\sin\alpha\right) -$$

$$- G_2(l_2\cos\alpha + h_2\sin\alpha) - \omega\rho - \omega_1\rho_1 - \omega_2 h - \frac{\delta_1 n(l + l_1)h}{900 - n^2 H}\left[Gn\sin\beta + \frac{66(G + G_{пр})\delta_0}{gt_1}\right] -$$

$$- \frac{\delta_2(G + G_{пр})}{gt_2}\left[\upsilon_1 h + \upsilon_2(l\cos\alpha + h\sin\alpha)\right]\ \Big\} \geq 1{,}15, \qquad (2.11)$$

где R_{BO} – вес трактора, приходящийся на заднюю ось без учета веса груза и заднего моста (при отсутствии блокировки).

Коэффициент грузовой, устойчивости без учета дополнительных нагрузок

$$K_{23} = \frac{R_{AO}(B + l_0) + R_{BO} l_0 + G_1 l_1 - G_2 l_2}{Gl} \geq 1{,}4. \qquad (2.12)$$

Коэффициент собственной устойчивости

$$K_{32} = \frac{1}{\omega\rho + \omega_1\rho_1}\Big[\ R_{AO}(B + l_0) + R_{BO} l_0 - G_{AO} h_0 \sin\alpha + G_1(l_1 \cos\alpha - h_1 \sin\alpha) - G_2(l_2 \cos\alpha + h_2 \sin\alpha)\ \Big] \geq 1{,}15. \qquad (2.13)$$

В некоторых случаях при эксплуатации манипуляторов требуется увеличить вылет стрелы с помощью дополнительной вставки и уменьшить грузоподъемность до величины, при которой грузовой момент остается прежним. Как видно из формул (2.6), (2.9), (2.12), увеличение плеча l при сохранении постоянного грузового момента ведет к уменьшению коэффициента грузовой устойчивости. С увеличением плеча l увеличиваются вес стрелы G_2 и плечо l_2, и последний член $G_2 l_2$ в уравнениях устойчивости растет, а остальные члены при этом остаются постоянными. Следовательно, коэффициент грузовой устойчивости уменьшается. Отсюда можно сделать вывод, что при увеличении вылета стрелы манипулятора и сохранении его грузового момента требуется обязательное уточнение коэффициента грузовой устойчивости.

По формулам для определения коэффициента грузовой устойчивости можно определить предварительно место установки выносных опор. При поперечной устойчи-

вости манипулятора согласно формуле (2.6) плечо

$$l_0 \geq \frac{1{,}4Gl + G_1 l_1 + G_2 l_2}{G_{AO} + G_1}. \tag{2.14}$$

При продольной устойчивости, согласно формуле (2.14), плечо l_0 для случая установки манипулятора сзади трактора

$$l_0 \geq \frac{1{,}4Gl - R_{AO}B - G_1 l_1 + G_2 l_2}{R_{AO} + R_{BO}}. \tag{2.15}$$

Окончательно места установки выносных опор определяются конструктивно с последующей проверкой коэффициентов грузовой устойчивости.

Для определения пространственного угла положения погрузочного агрегата по сигналам от двух датчиков положения (в продольной и поперечной плоскостях) предложены система и алгоритм расчета угла отклонения агрегата от вертикали. Принцип измерения пространственного угла положения объекта (груза или погрузчика) в пространстве показан на рис. 2.9. Система (рис. 2.10) состоит из датчиков положения (Датчик 1 и Датчик 2), вычисли-

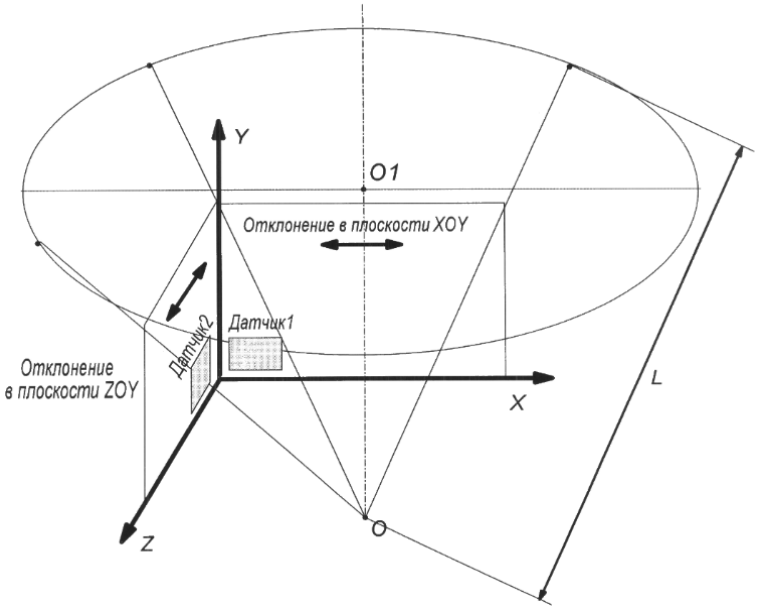


Рис. 2.9. К определению пространственного угла положения объекта

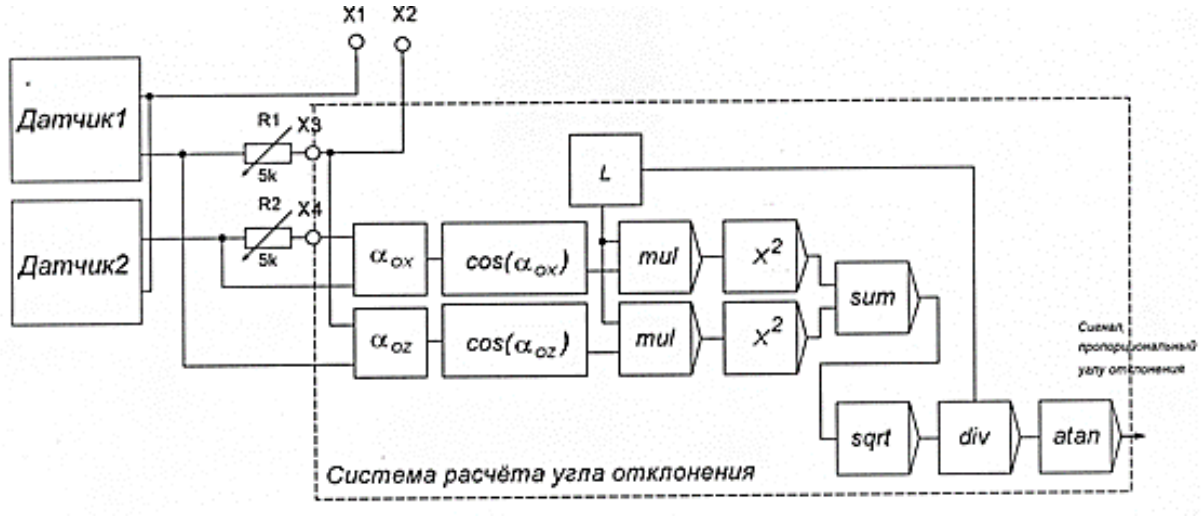


Рис. 2.10. Система расчета угла отклонения агрегата от вертикали

тельных блоков тригонометрических функций (*cos, atan*), умножения (*mul*), деления (*div*), суммирования (*sum*), возведения в степень (x^2, *sqrt*).

2.4. Динамическая модель датчика угла положения и обоснование его параметров.

Рассмотрим маятниковый датчик (рис. 2.11), имеющий устойчивое положение равновесия, от которого отсчитываем обобщенную координату, φ – угол поворота маятника датчика.

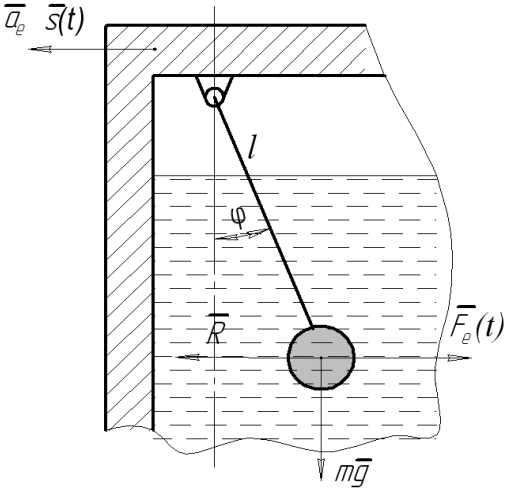


Рис. 2.11. Расчетная схема маятникового датчика положения объекта

В соответствии с допущением о малости колебаний обобщенную координату φ, ее скорость $\dot{\varphi}$ и ускорение $\ddot{\varphi}$ считаем величинами первого порядка малости. В дифференциальных уравнениях движения будем учи-

тывать величины первого порядка малости, а в выражениях для кинетической энергии *T*, потенциальной энергии *П* и вводимой ниже диссипативной функции Рэлея *Ф* – величины до второго порядка малости, поскольку использование уравнения Лагранжа II рода

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}}\right)-\frac{\partial T}{\partial q}=Q \tag{2.16}$$

приводит вследствие дифференцирования к понижению порядка малости на единицу.

Уравнение Лагранжа II рода можно представить в виде

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}}\right)+\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}}+\frac{\partial \Pi}{\partial q}=Q(t) \tag{2.17}$$

и тогда дифференциальное уравнение вынужденных колебаний линейной системы с одной степенью свободы имеет вид [41, 108]

$$a\ddot{q}+b\dot{q}+cq=Q(t), \tag{2.18}$$

где $a > 0$ – обобщенный инерционный коэффициент; $b \geq 0$ – обобщенный диссипативный коэффициент; $c > 0$ – квазиупругий коэффициент, $Q(t)$ – обобщенная сила.

Обобщенную силу $Q(t)$, характеризующую внешнее воздействие на колебательную систему, можно представить в виде [41]

$$Q(t) = Q_0 \sin(pt + \beta), \tag{2.19}$$

где Q_0 – амплитуда обобщенной силы; p, β – ее частота и начальная фаза, c^{-1} и *рад* соответственно.

Когда $Q(t)$ изменяется по закону синуса или косинуса, имеет место гармоническое возбуждение колебаний.

Рассмотрим случай инерционного возбуждения маят-

ника датчика в случае неравномерного движения погрузочного агрегата (разгон или торможение). Примем, что система координат, связанная с корпусом датчика положения вилочного захвата, движется вместе с ним поступательно и прямолинейно, но неравномерно. Поэтому при составлении дифференциального уравнения вынужденных относительных колебаний необходимо учитывать переносную силу инерции $\overline{F}_e(t) = -m\overline{a}_e$, направленную против переносного ускорения (рис. 2.11). Переносное ускорение считаем сонаправленным с перемещением *S(t)*. Обобщенная сила *Q(t)* будет определяться переносной силой инерции $F_e(t)$, т. е.

$$Q(t) = \frac{-m \cdot \ddot{s}(t) \cdot l \cdot \cos(\varphi) \cdot \delta\varphi}{\delta\varphi} = m \cdot p^2 s_0 \cdot l \cdot \sin(pt + \beta) \cdot \cos(\varphi), \qquad (2.20)$$

или с учетом малости угла φ

$$Q(t) = mp^2 s_0 l \sin(pt + \beta), \qquad (2.21)$$

где m – масса маятника, l – его длина.

Дифференциальное уравнение движения маятника

$$J\ddot{\varphi} = m \cdot g \cdot l \cdot \sin\varphi, \qquad (2.22)$$

где $J = ml^2$ – момент инерции маятника относительно оси вращения, кг·м^2.

Рассмотрим математический маятник и оценим погрешность решения задачи, связанную с допущением о малости колебаний при достаточно больших отклонениях маятника, описываемого дифференциальным уравнением

$$\ddot{\varphi} + \frac{g}{l}\sin(\varphi) = 0. \qquad (2.23)$$

Примем максимальный угол отклонения маятника φ_{max} = 15° ≈1/4 рад. Поскольку $\sin(\varphi) = \varphi - \frac{\varphi^3}{3!} + \ldots$, полу-

чаем $sin\frac{1}{4} \approx \frac{1}{4} - \frac{1}{384} = \frac{1}{4}(1 - \frac{1}{96})$, т. е. ошибка при максимальном отклонении маятника φ_{max} = 1/4 рад составляет 0,98 %, что вполне допустимо в инженерной практике.

Дифференциальное уравнение малых колебаний маятника датчика при инерционном возмущении и при наличии диссипативной силы $R = \mu\dot{\varphi}\, l$ примет вид

$$J\ddot{\varphi} = Q(t) - mg \cdot l \cdot \sin(\varphi) - R \cdot l \cdot \cos(\varphi) \tag{2.24}$$

или

$$ml^2\ddot{\varphi} + mg \cdot l \cdot \sin(\varphi) + \mu\dot{\varphi} \cdot l^2 \cdot \cos(\varphi) = Q(t), \tag{2.25}$$

где μ – коэффициент демпфирования.

Исходя из допущений о малости колебаний, полагаем $cos(\varphi) = 1$, $sin(\varphi) = \varphi$, и с учетом выражения (2.21) после преобразований получим дифференциальное уравнение движения маятника датчика при произвольном инерционном возбуждении, возникающим при движении погрузочного агрегата по неровностям

$$\ddot{\varphi} + \frac{\mu}{m}\dot{\varphi} + \frac{g}{l}\varphi = \frac{p^2 s_0}{l}\sin(pt + \beta), \tag{2.26}$$

или

$$\ddot{\varphi} + 2\varepsilon\dot{\varphi} + k^2\varphi = \frac{p^2 s_0}{l}\sin(pt + \beta), \tag{2.27}$$

где $2\varepsilon = \mu/m$, $k^2 = g/l$.

Общим решением линейного неоднородного дифференциального уравнения будет

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2. \tag{2.28}$$

Составляющая собственных колебаний маятника при наличии вязкого сопротивления определится

$$\varphi_1 = \begin{cases} \sqrt{\varphi_0^{\,2} + \left(\dfrac{\dot{\varphi}_0}{\sqrt{g/l}}\right)^2} \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin(\omega t + \beta), \text{при } \varepsilon < k \\ e^{-\varepsilon t} \cdot (C_1 + C_2 t), \text{при } \varepsilon = k \\ e^{-\varepsilon t} \cdot (C_1 e^{kt} + C_2 e^{-kt}), \text{при } \varepsilon > k. \end{cases} \qquad (2.29)$$

Для исключения амплитудных искажений маятникового датчика необходимо чтобы частота собственных колебаний прибора $k = \sqrt{\dfrac{g}{l}}$ значительно превышала максимальную частоту учитываемых гармоник периодически измеряемой величины *p*, а для исключения фазовых искажений необходимо, чтобы фазовые сдвиги были близки к нулю [43]. Для этого прибор должен иметь как можно большую добротность *Д* = 1/*d* и соответственно как можно меньший безразмерный коэффициент затухания [41]. Наименьшие отклонения коэффициента динамичности наблюдаются при добротности близкой к единице (рис. 2.12), но максимальное значение фазового сдвига на этом диапазоне будет достигать π/2, что недопустимо.

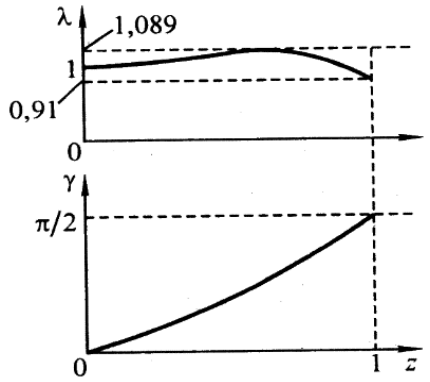


Рис. 2.12. Зависимость добротности и фазового сдвига от коэффициента расстройки системы

Как правило, при проектировании приборов приходится идти на компромисс между искажениями по фазе и амплитуде и добротностью.

Для маятникового датчика основным параметром, влияющим на его собственную частоту и период колебаний будет длина подвеса *l*, которая еще дополнительно

зависит от габаритов проектируемого датчика. Зависимости периода и круговой частоты колебаний от длины маятника представлены на рис. 2.13.

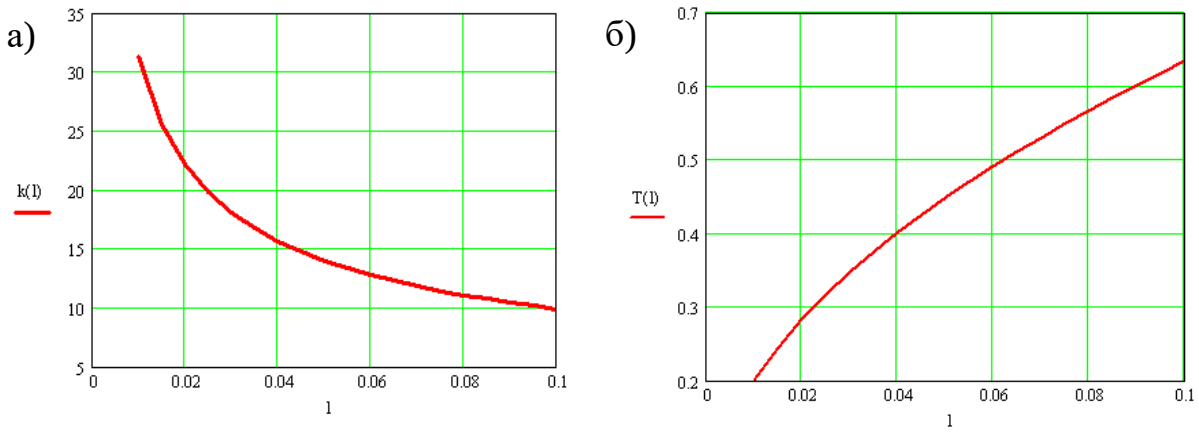


Рис. 2.13. Зависимости собственной круговой частоты колебаний k (а) и периода колебаний T (б) маятника датчика от его длины l

Для определения длины подвеса датчика l решим задачу поиска наиболее рациональных параметров маятникового датчика, удовлетворяющими следующим требованиям:

- минимальные габариты датчика ($l \to min$);
- как можно большая добротность системы (Д $\to max$);
- минимальные значения коэффициента динамичности($\lambda \to min$);
- частота собственных колебаний как можно больше ($k \to max$).

Естественно удовлетворить все условия невозможно, поэтому сначала определим области существования наиболее близких к оптимальным параметрам значений добротности, построив ее зависимости от коэффициента затухания и длины подвеса, от которого непосредственно зависит круговая частота собственных колебаний.

Зависимости добротности представим в виде поверх-

ностей, построение которых реализовано по ниже представленному алгоритму, реализованному в *MS EXCEL* (рис. 2.14). Необходимость реализации алгоритма обусловлена выражением (2.27) и соответственно различным решением дифференциального уравнения движения маятника при различных значениях коэффициента затухания колебаний и круговой частоты колебаний.

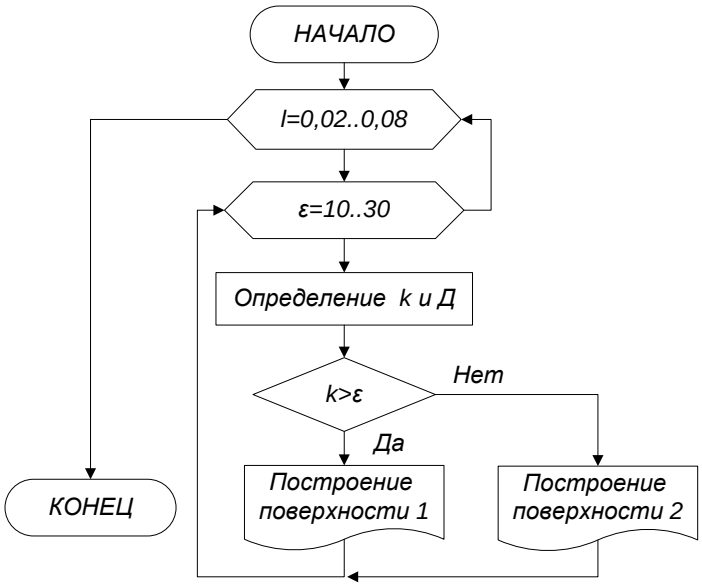


Рис. 2.14. Блок-схема реализации алгоритма построения выборочной части поверхности в *EXCEL* для различных решений

На рис. 2.15 представлена поверхность зависимости добротности Д от k и ε, удовлетворяющих решению третьего уравнения в выражении (2.27), максимальное значение добротности для этого случая составляет Д = 0,495 при длине маятника l = 0,025 м.

На рис. 2.16 представлена поверхность зависимость добротности *Д* от k и ε при ε < k, из которой видно, что наибольшие значения добротности изменяются от 0,502 до 1,107, что более удовлетворяет предъявляемым выше требованиям (по сравнению с результатами, представленными на рис. 2.15). Уравнение движения маятника в этом случае будет описываться первым уравнением выражения

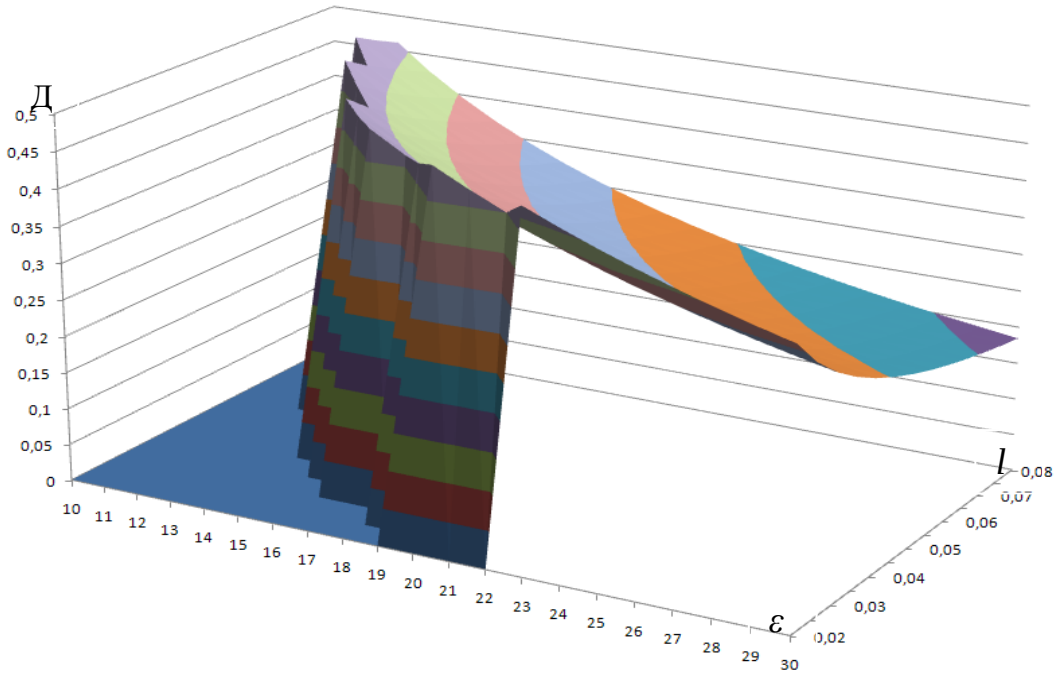


Рис. 2.15. Зависимость добротности Д от k и ε при ε > k

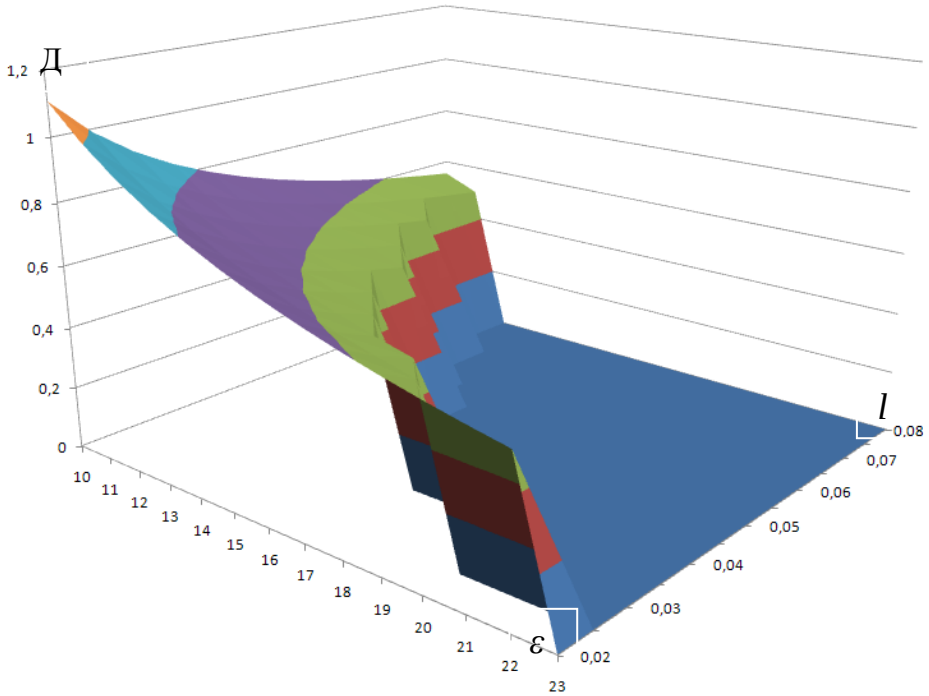


Рис. 2.16. Зависимость добротности Д от k и ε при ε < k

(2.27). Определение наиболее рациональных параметров датчика маятникового типа далее будем искать в последней области зависимости *Д* (см. рис. 2.16.). При этом сле-

дует учитывать, что нужно стремиться, чтобы коэффициент затухания ε был наибольшим.

Отметим также, что значения безразмерного коэффициента затухания $d = \dfrac{2\varepsilon}{k}$ изменяются от 0,903 до 1,999 при соответствующих значениях добротности *Д* = 0,502-1,107. Определим коэффициент динамичности

$$\lambda = \frac{1}{(1-z^2)^2 + d^2 z^2}, \qquad (2.30)$$

где $z = p/k$ – коэффициент расстройки.

Зависимость коэффициента динамичности λ от коэффициента расстройки z при различных значениях d представлено на рис. 2.17.

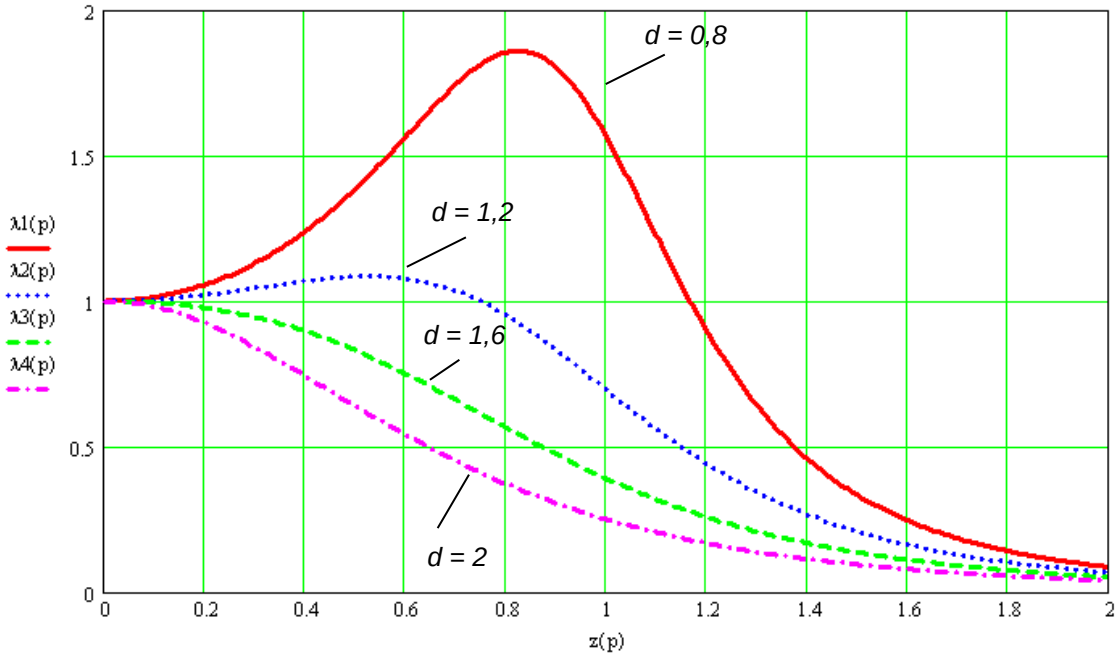


Рис. 2.17. Зависимость коэффициента динамичности от коэффициента расстойки z

Однако в нашем случае имеет место инерционное возбуждение системы, и следовательно следует опреде-

лить коэффициент динамичности при инерционном возбуждении, который определится по выражению (2.31)

$$\lambda_{èí} = \frac{1}{\sqrt{(1-z^2)^2 + d^2 z^2}} . \qquad (2.31)$$

Как видно из графиков изменения коэффициента динамичности (см. рис. 2.17) и коэффициента динамичности при инерционном возбуждении (рис. 2.18), наиболее рациональные параметры маятника (k и ε) должны соответствовать безразмерному коэффициенту динамичности d = 1,2-2,0. Эти значения приведены в табл. 2.4, из которой видно, что при различных значениях длин маятника варьированием коэффициента затухания, можно достичь нуж-

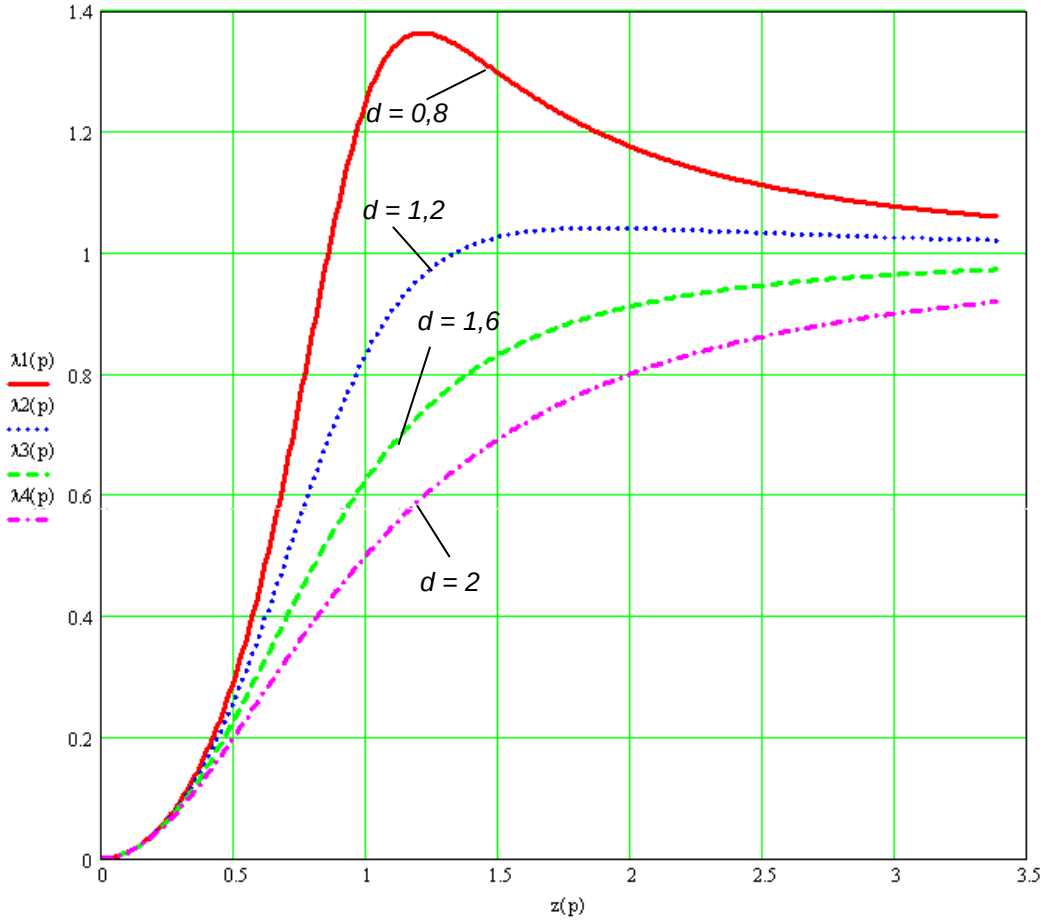


Рис. 2.18. Зависимость коэффициента динамичности при инерционном возбуждении от коэффициента расстойки z

Таблица 2.4

Значения безразмерного коэффициента динамичности, удовлетворяющие диапазону рациональных параметров маятникового датчика

***l*/ε**	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0,02	-	-	-	-	1,264	1,355	1,445	1,535	1,625	1,716
0,025	-	-	1,212	1,313	1,413	1,514	1,615	1,716	1,817	1,918
0,03	-	1,217	1,327	1,438	1,548	1,659	1,77	1,880	1,991	-
0,035	-	1,314	1,434	1,553	1,672	1,792	1,911	-	-	-
0,04	1,277	1,405	1,533	1,66	1,788	1,916	-	-	-	-
0,045	1,355	1,49	1,625	1,761	1,896	-	-	-	-	-
0,05	1,428	1,571	1,713	1,856	1,999	-	-	-	-	-
0,055	1,498	1,647	1,797	1,947	-	-	-	-	-	-
0,06	1,564	1,721	1,877	-	-	-	-	-	-	-

ных значений безразмерного коэффициента затухания, соответствующих максимальным значениям добротности *Д*. Поэтому принимаем длину подвеса равную 0,04 м.

Для рассматриваемого датчика положения маятникового типа при l = 0,04 м собственная круговая частота колебаний

$$k = \sqrt{\frac{g}{l}} = \sqrt{\frac{9{,}81}{0{,}04}} = 15{,}66c^{-1}, \qquad (2.32)$$

период свободных колебаний $T_C = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{15{,}66} = 0{,}401c$.

Период колебаний маятника датчика с учетом вязкого сопротивления в демфпирующей жидкости, определенный опытным путем составляет T_D = 0,205 с, тогда коэффициент затухания колебаний

$$\varepsilon = \frac{\mu}{2m} = \frac{\pi}{T_C T_D}\sqrt{T_C^2 - T_D^2} = \frac{\pi}{0{,}425 \cdot 0{,}205}\sqrt{0{,}425^2 - 0{,}205^2} = 13{,}17c^{-1}. \qquad (2.33)$$

Так как ε < k, то имеем случай затухающих колебаний, и

согласно выражению (2.27) имеем

$$\varphi_1 = \sqrt{\varphi_0{}^2 + \left(\frac{\dot{\varphi}_0}{\sqrt{g/l}}\right)^2} \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin(\omega t + \beta), \qquad (2.34)$$

$$\varphi_2 = B \cdot \sin(pt + \beta). \qquad (2.35)$$

Для определения величин амплитуды B и фазы β вынужденных колебаний вычислим первую и вторую производные φ_2 и подставим в решаемое уравнение (2.25)

$$-Bp^2 \sin(pt+\beta) + 2\varepsilon \cdot Bp\cos(pt+\beta) + k^2 B\sin(pt+\beta) = \frac{p^2 s_0}{l}\sin(pt+\beta). \qquad (2.36)$$

Полученное равенство (2.30) должно выполняться при любых значениях аргументов (pt + β) [81, 115], поэтому коэффициенты при sin(pt + β) и cos(pt + β) в обеих частях должны быть равны, что дает

$$\left.\begin{aligned} B(k^2 - p^2) &= \frac{p^2 s_0}{l}\cos p \\ B \cdot 2\varepsilon p &= -\frac{p^2 s_0}{l}\sin p \end{aligned}\right\}. \qquad (2.37)$$

Решение системы (2.35) позволяет определить амплитуду B и $tg(p)$

$$\left.\begin{aligned} B &= \frac{p^2 s_0 / l}{\sqrt{(k^2 - p^2)^2 + 4\varepsilon^2 p^2}} \\ tg(p) &= -\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot p}{k^2 - p^2} \end{aligned}\right\}, \qquad (2.38)$$

знак "минус" в правой части второго выражения показывает, что вынужденные колебания по фазе отстают от вынуждающей силы. Полученные выражения (2.38) являются соответственно амплитудочастотной и фазочастотной характеристиками колебательной системы (рис. 2.19).

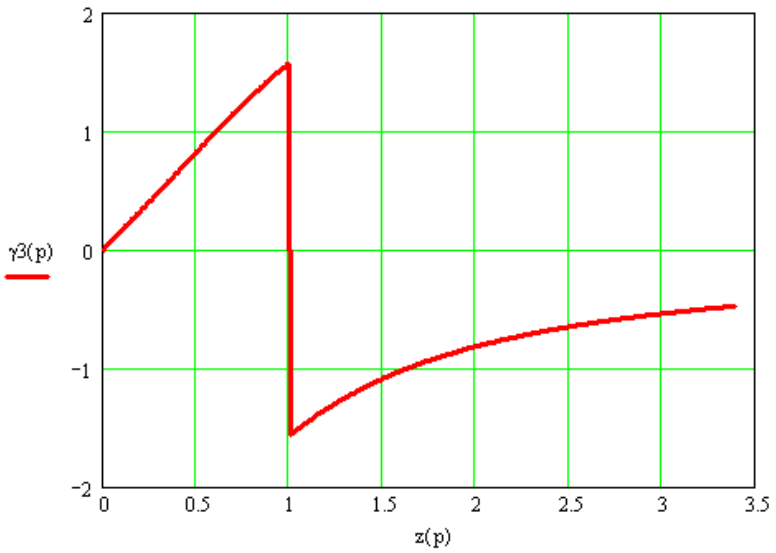


Рис. 2.19. Фазочастотная характеристика маятникового датчика при l = 0,04 и ε = 13 с$^{-1}$

Общее аналитическое решение уравнения (2.25) с учетом выражений (2.34), (2.35) и (2.38) и после соответствующих преобразований примет вид

$$\varphi = \sqrt{\varphi_0^{\,2} + \left(\frac{\dot{\varphi}_0}{\sqrt{g/l}}\right)^2} \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin(\omega t + \beta) + \frac{p^2 s_0 / l}{\sqrt{(k^2 - p^2)^2 + 4\varepsilon^2 p^2}} \sin(pt + \beta) \quad . \quad (2.39)$$

На рис. 2.20 и 2.21 представлены графики колебаний маятника датчика при инерционном возбуждении, реализованные в *Mathcad* [58].

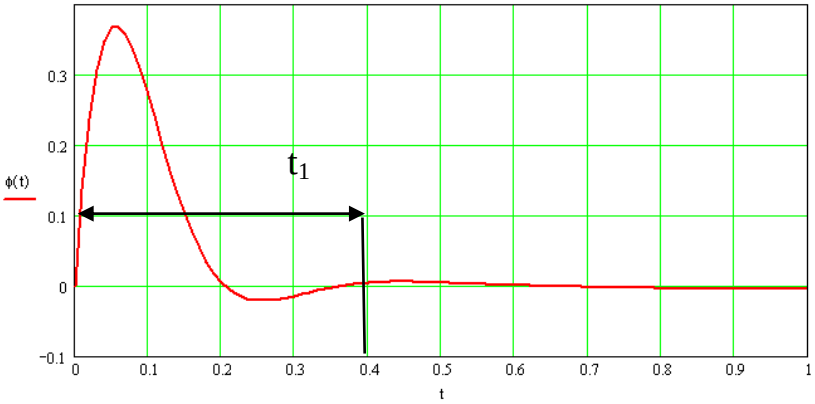


Рис. 2.20. Колебания маятника датчика при инерционном возбуждении частотой p = 5с$^{-1}$

Как видно из графиков колебаний маятника датчика (см. рис. 2.20, 2.21) колебательный процесс апериодический, что позволяет за t_1 = 0,4 с вернуться маятнику в состояние равновесия, демпфирование колебаний происходит

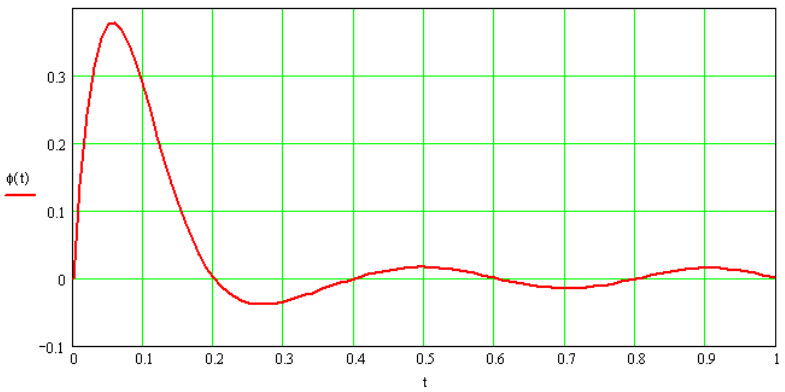


Рис. 2.21. Колебания маятника датчика при инерционном возбуждении резонансной частотой $p = k = 15{,}66\text{с}^{-1}$

за 0,2-0,3 с, а при частоте вынужденных колебаний, близкой к резонансной, наблюдаются гармоники с периодом T = 0,4 с но с незначительной амплитудой в 0,016 рад (0,92º). Таким образом, можно сделать вывод об оптимально рассчитанных параметрах маятникового датчика положений.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОГРУЗОЧНОГО АГРЕГАТА

3.1. Опытный образец системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата

Основой программно-аппаратного комплекса мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата является прибор регистрации и вычисления эксплуатационных показателей, аппаратная часть которого выполнена на микроконтроллере *PIC16F877a*. Выбор этого микроконтроллера в качестве управляющего и вычислительного устройства обоснован его широким распространением на российском рынке и дешевизной. Микросхема *PIC16F877a* представляет собой 8-разрядный КМОП (комплементарная логика на транзисторах металл-оксид-полупроводник) микроконтроллер с *Flash* памятью в 8 КБт, оперативной памятью (*RAM*) объемом 365 КБт и ППЗУ объемом 250 КБт. Центральный процессор может работать на тактовой частоте до 20 МГц. Микроконтроллер имеет интерфейсы *UART*, *SPI*, I^2C, 8 аналоговых входов с разрядностью АЦП – 10 бит, два встроенных аналоговых компаратора. Рабочее напряжение питания микроконтроллера от 2 до 5,5 В в диапазоне температур от –40 до +125 ºС,

что вполне подходит для сельскохозяйственной техники.

Микроконтроллер *PIC16F877a* имеет высокопроизводительный *RISC* – процессор, все инструкции исполняются за 200 нс, составляющих один такт вычислений, имеется вход внешних прерываний, прямой, косвенный и относительный режимы адресации для данных и инструкций. Особенностью микроконтроллера является сторожевой таймер с собственным встроенным *RC*-генератором для повышения надежности работы, режим экономии энергии (*SLEEP*). Период хранения данных в ППЗУ – более 40 лет при 100 тысячах циклах записи/стирания.

В разработанном приборе регистрации и вычисления эксплуатационных показателей тактовая частота процессора в 4 МГц (рис. 3.1) задается кварцевым резонатором *ZQ*1. Питание устройства осуществляется от бортовой сети погрузчика через стабилизатор, собранный на микросхеме *DA*1 *L*7805, преобразующий напряжение бортовой сети 12В в 5В.

Индикация регистрируемых параметров осуществляется посредством трехсегментных *LED* индикаторов *HG*1 и *HG*2 модели *FYT*5631*B*, объединенных в один 6-значный индикатор и подключенных к микроконтроллеру через токоограничивающие резисторы *R*8-*R*21. Управление каждой секцией осуществляется транзисторными ключами *VT*3-*VT*8, собранными на доступных отечественных кремниевых транзисторах КТ315Б. На транзисторах *VT*1 и *VT*2 собраны буферные ограничители напряжения. Конденсаторы *C*5-*C*13 выполняют роль фильтров. Для переключения индикации регистрируемых параметров используются кнопки *SB*1-*SB*7. Все датчики подключаются к прибору через разъем *DB*9 (рис. 3.2, поз. 5).

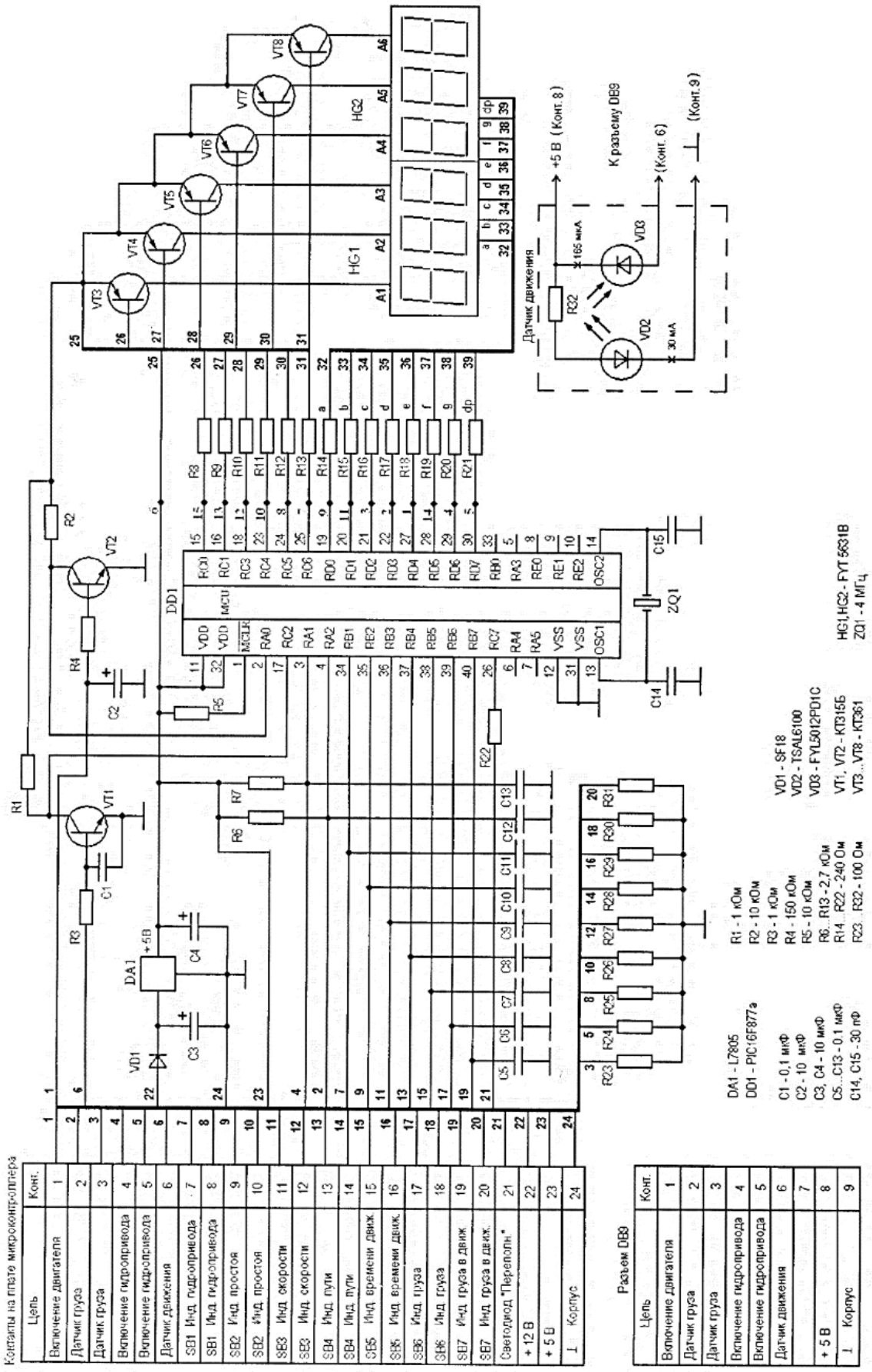


Рис. 3.1. Принципиальная схема прибора регистрации и вычисления эксплуатационных показателей

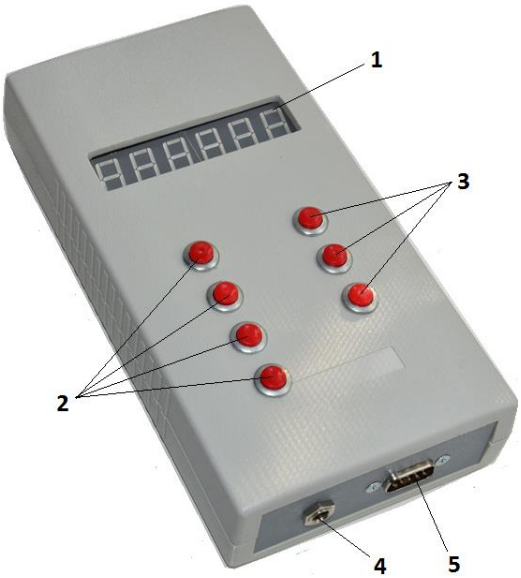


Рис. 3.2. Внешний вид прибора системы мониторинга работы погрузочного агрегата: 1 – сегментный индикатор; 2 – кнопки переключения режимов индикации текущего времени T_2, T_3, T_5, T_6; 3 – кнопки переключения режимов индикации T_4, S, V_{cp}; 4 – разъем питания прибора; 5 – разъем для подключения датчиков

На вход прибора в качестве регистрируемых параметров поступают: напряжение от клемм генератора погрузочного агрегата (см. рис. 3.1, конт. 1), замыкание цепи датчиков наличия груза на крюке (см. рис. 3.1, конт. 2 и 3), замыкание цепи датчиков включения гидропривода (см. рис. 3.1, конт.4 и 5), дискретный сигнал изменения сопротивления фотодатчика регистрации движения погрузочного агрегата (см. рис. 3.1, конт. 6).

По умолчанию на индикаторе высвечивается текущее время работы двигателя T_1, для индикации остальных параметров используются кнопки 2 и 3 на лицевой панели прибора (см. рис. 3.2). Функции сброса параметров во время работы прибора не предусмотрено, все регистрируемые параметры и вычисляемые показатели могут быть перенесены на стационарный компьютер посредством *COM* – интерфейса, а сброс параметров возможен только при полном отключении прибора от бортовой сети погрузочного агрегата.

Прибор позволяет беспрерывно регистрировать эксплуатационно-технологические параметры в течение 9 часов 59 минут, предусмотрена возможность переноса реги-

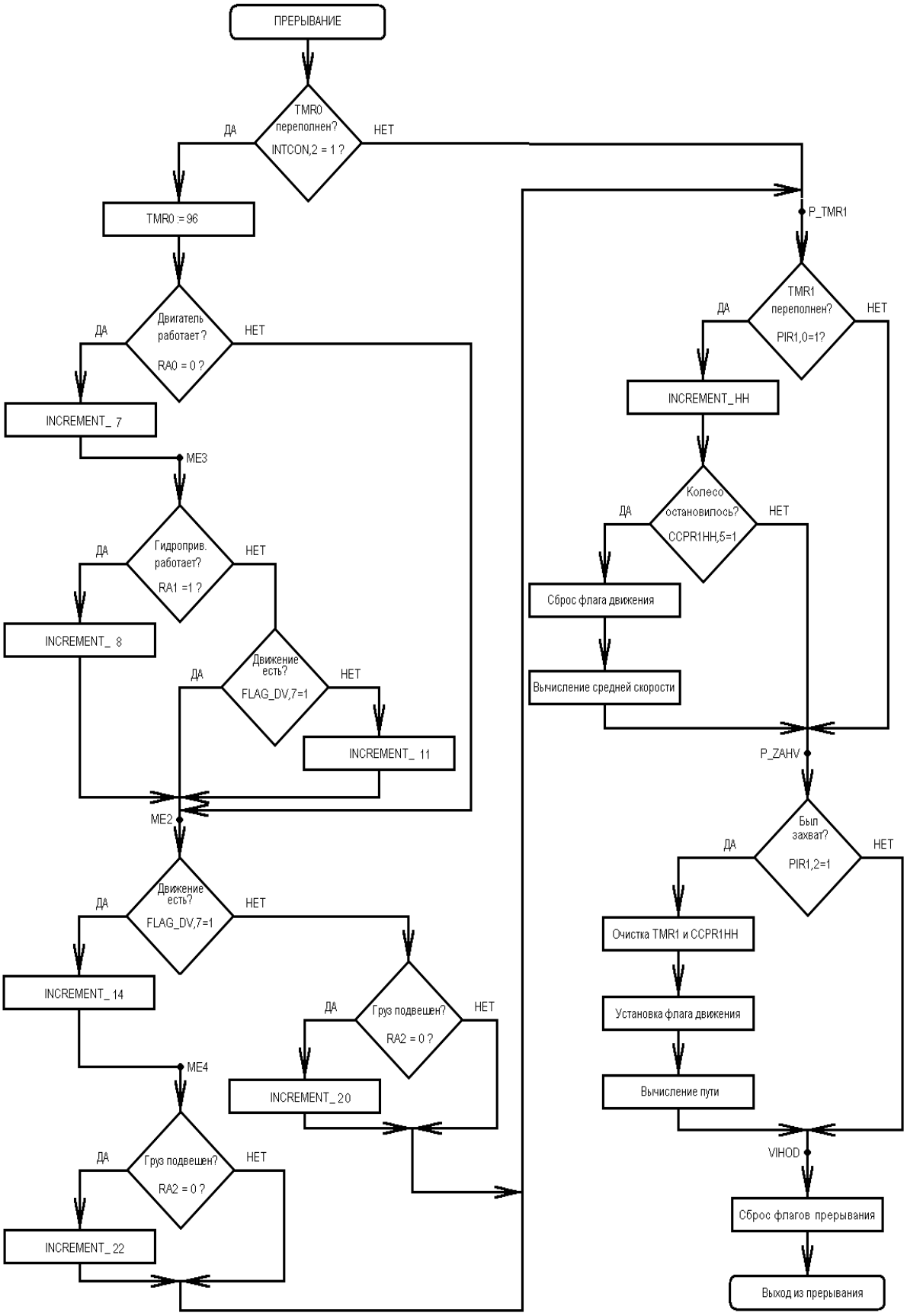


Рис. 3.3. Алгоритм опроса датчиков

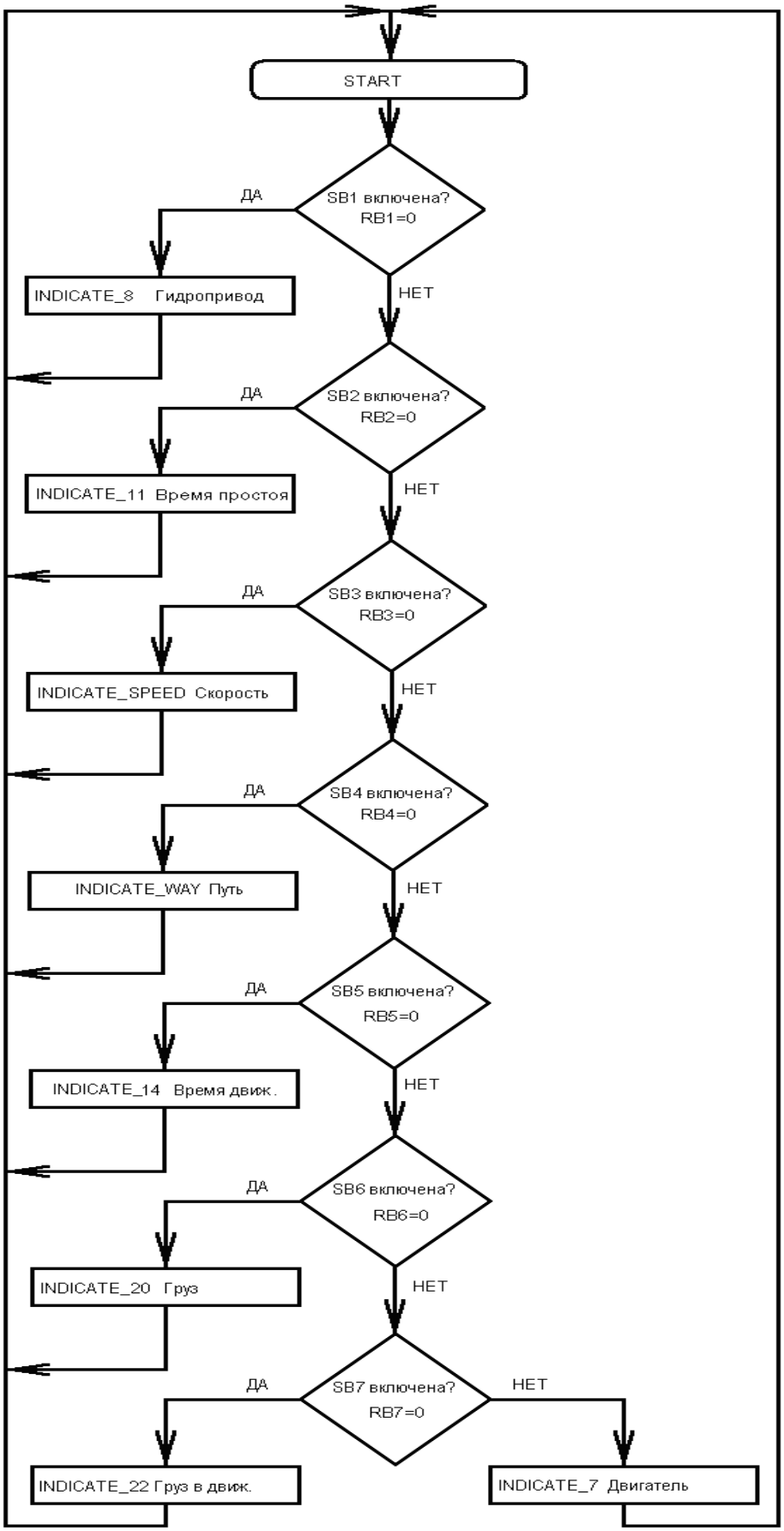


Рис. 3.4. Алгоритм опроса состояния контактов кнопок переключения режимов индикации

стрируемых и расчетных параметров на компьютер после каждой смены.

Алгоритм опроса датчиков (рис. 3.3) построен на процедурах прерываний и реализован на Ассемблере. В основном теле программы отсутствуют команды вызова процедуры опроса датчика, пока на вход запроса прерываний микроконтроллера *INT* не поступает никаких сигналов, процессор выполняет основную свою программу.

Изменение состояния индикаторов происходит в процессе опроса датчиков при обработке прерываний, источником которых является переполнение таймеров *TMR*0 и *TMR*1 микроконтроллера. Частота опроса составляет 50 Гц.

Получив сигнал прерывания, процессор приостанавливает выполнение основной программы и выполняет процедуру обработки сигнала от датчиков (сигнала от генератора, контактов гидрораспределителя, датчика движения, датчика грузоподъемности).

Алгоритм программы сводится к последовательному опросу семи кнопок управления. В случае нажатия одной из них осуществляется индикация соответствующей функции: время простоя, пройденный путь, скорость движения погрузчика и т. д. Если не нажата ни одна из кнопок, индицируется время работы двигателя (рис. 3.4).

3.2. Испытание системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата

Для отладки алгоритма использовался упрощенный вариант реализации аппаратно-программного комплекса

системы мониторинга работы погрузочного агрегата, который представлен на рис. 3.5 и состоит из генератора 1 двигателя, преобразователей сигнала 2 и 8, гидрораспределителя 4, связанного кинематически с контактами включателя 5, датчика грузоподъемности 7, буферных повторителей 3, 6 и 9, разъема 10 и компьютера 11.

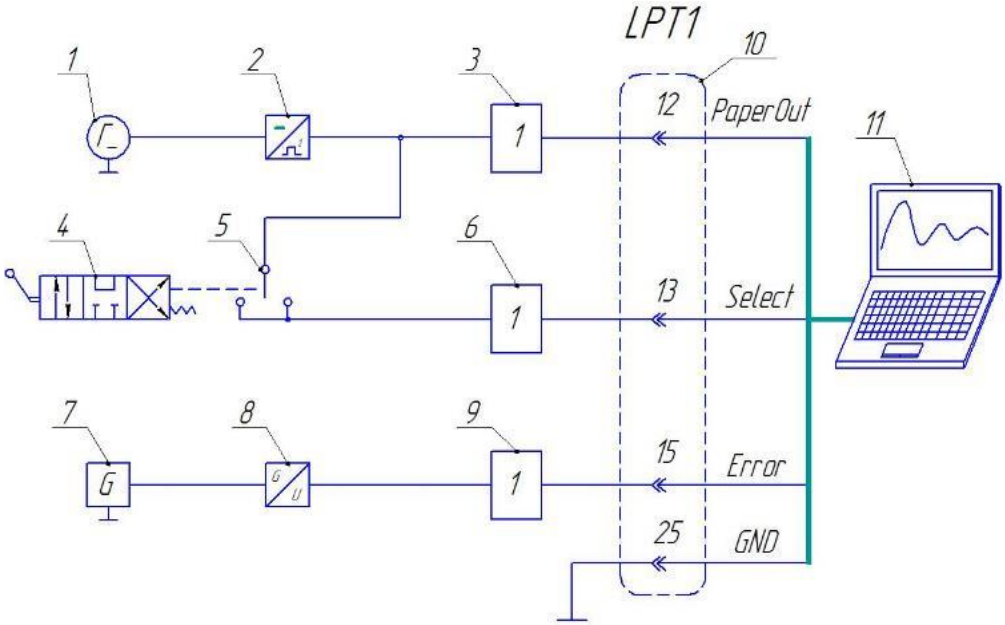


Рис. 3.5. Схема упрощенного (отладочного) варианта системы мониторинга работы погрузочного агрегата

Сигналы от датчиков через устройство согласования поступает на параллельный *LPT* порт компьютера, опрос которого происходит по алгоритму, представленному на рис. 3.6, представляющему бесконечный цикл опроса в течение всего технологического цикла. Результатом реализации алгоритма являются коэффициент использования гидропривода погрузочного агрегата *К*1, коэффициент полезного использования погрузочного агрегата на погрузочно-разгрузочных работах *К*2 и время холостого позиционирования рабочего оборудования.

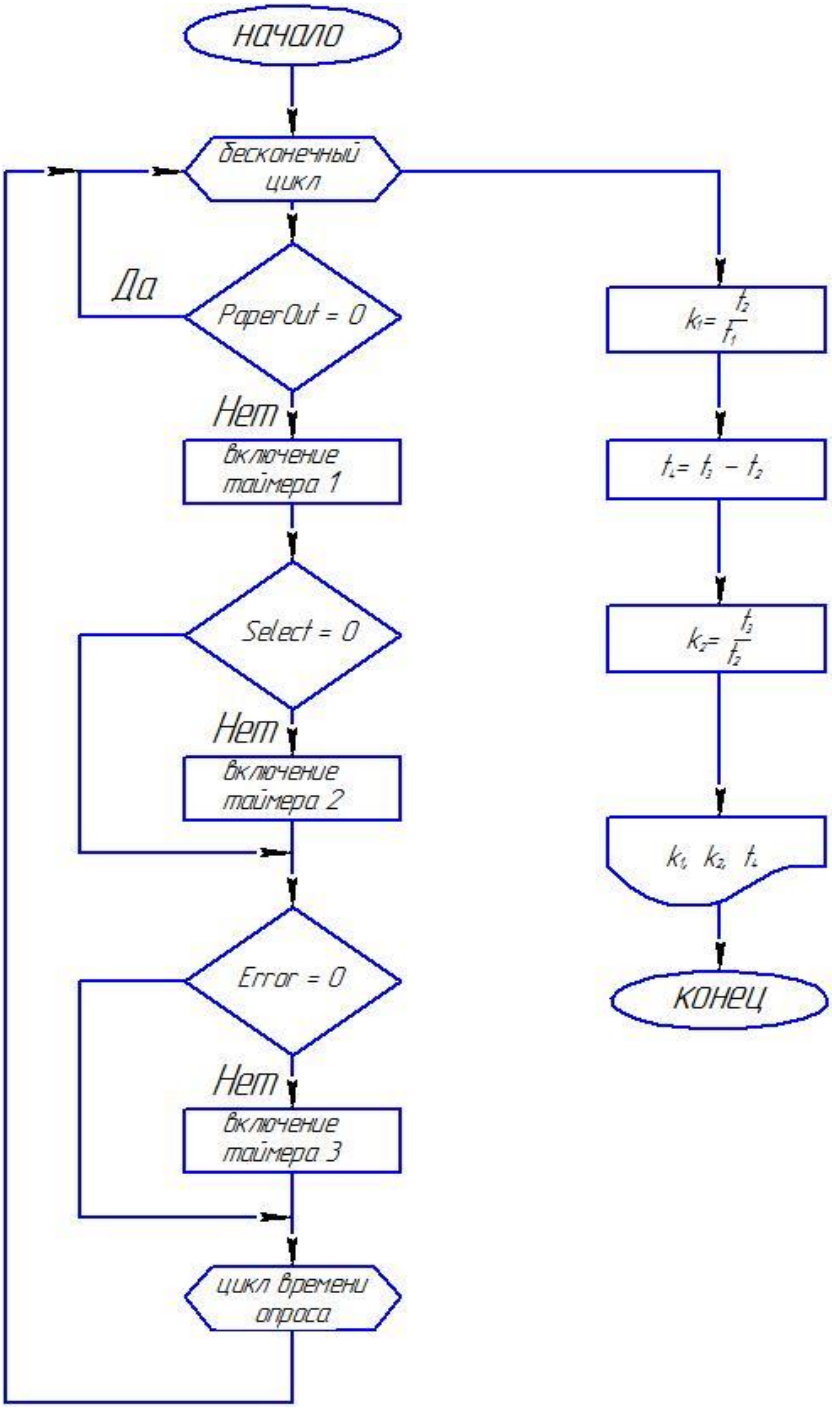


Рис. 3.6. Алгоритм опроса *LPT* порта компьютера и расчета эксплуатационно-технологических параметров

Для проверки работоспособности системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и настройки прибора регистрации параметров, и датчиков был создан имитационный лабораторный стенд (рис. 3.7).

Данный имитационный стенд позволяет имитировать включение двигателя (начало подачи напряжения с клемм генератора), переключение рычагов исполнительного гид-

ропривода, переключение рычага коробки перемены передач агрегатирующего трактора и наличие/отсутствие груза на крюковой подвеске. Имитационный стенд использовался на этапах отладки алгоритмов и для настройки датчиков, в частности, датчика движения погрузочного агрегата.

Рис. 3.7. Имитационный лабораторный стенд для проверки работоспособности: 1 – прибор регистрация параметров и вычисления эксплуатационных показателей; 2 – тумблер имитации включения двигателя; 3 – тумблер имитации включения гидропривода; 4 – тумблер имитации включения передач (вперед/назад); 5 – тумблер имитации срабатывания датчика грузоподъемности; 6-9 – светодиоды индикации включения имитирующих действий

Датчик движения (оптический энкодер) выполнен барьерного типа и представляет собой оптопару на инфракрасных светодиоде *VD*2 – излучателе и фотодиоде *VD*3 – приемнике (см. рис. 3.1). Излучатель и приемник находятся в отдельных корпусах, которые устанавливаются друг напротив друга на одной оси, прерывание прохождения лу-

ча осуществляется посредством перфорированного диска, закрепленного на валу колеса погрузочного агрегата (рис. 3.8). На диске выполнены 18 отверстий. Изменение освещенности фиксируется приемником, появившийся сигнал подается на прибор регистрации.

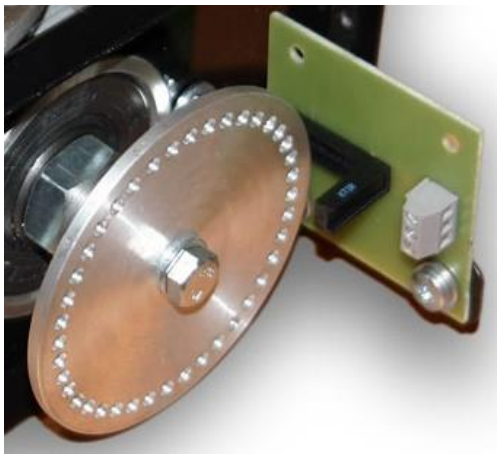


Рис. 3.8. Датчик движения барьерного типа (оптический энкодер)

Алгоритм программы предусматривает различные случаи определения начала движения. В остановленном состоянии может быть два случая положения диска: 1 – луч от источника проходит через отверстие диска и поступает на приемник; 2 – луч от источника перекрыт диском. Во всех случаях, если не происходит изменение освещенности в течение 1,5 с, алгоритм предусматривает выдачу сигнала об отсутствии движения. Время ожидания может быть изменено при использовании дисков с другим количеством отверстий.

Датчики включения гидропривода представляют собой микропереключатели типа МП, контакты которых кинематически связаны с рычагами переключения золотников гидрораспределителя (рис. 3.9).

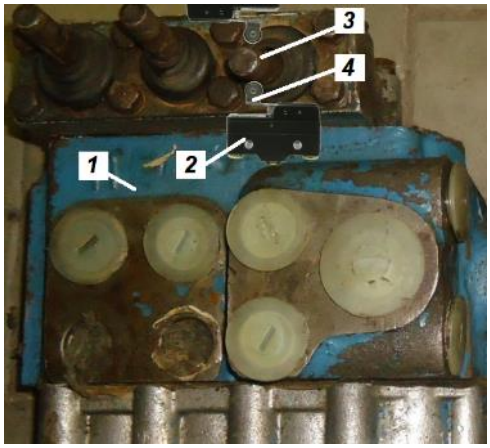


Рис. 3.9. Внешний вид размещения датчиков включения гидропривода: 1 – гидрораспределитель, 2 – микропереключатель МП, 3 – рычаг управления золотником, 4 – пружинная кнопка микропереключателя

Датчик наличия груза на крюке 1 (рис. 3.10) состоит из двуплечего рычага 2, установленного на шарнире 3. Одно плечо рычага 2 повторяет поверхность ложа крюка, а другое воздействует на кнопку микропереключателя 4, микропереключатель жестко установлен на крюке 1 посредством крепления 5. Возврат рычага 2 при отсутствии груза обеспечивается пружиной 6.

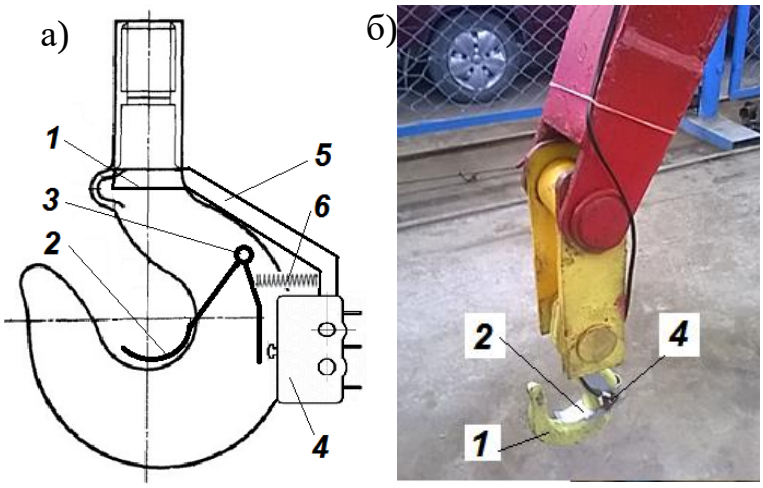


Рис. 3.10. Датчик наличия груза на крюковой подвеске: а) схема датчика наличия груза на крюке, б) внешний вид крюковой подвески с датчиком наличия груза

Практическая апробация программно-аппаратного комплекса мониторинга работы погрузочного агрегата проводилась как в лабораторных условиях, так и на погрузочном манипуляторе НПМ-0,6 на базе самоходного шасси Т-16МГ (рис. 3.11).

Рис. 3.11. Внешний вид погрузочного агрегата на базе СШ Т-16МГ и навесного манипулятора НПМ-0,6

Схема коммутации датчиков с прибором регистрации параметров представлена на рис. 3.12, внешний вид размещения прибора и коммутационной панели на рис. 3.13 и 3.14. Для коммутации датчиков используются герметичные разъемы с фиксацией резьбовыми замками, для исключения паразитных наводок все кабели экранированы. В качестве длинных кабелей, в частности, кабеля датчика наличия груза на крюковой подвеске и кабеля датчика регистрации движения агрегата используется кабель "витая пара" в экранированной оболочке. Внутреннее сопротивление кабелей не превышает 4 Ом, что обеспечивает надежную регистрацию замыкания контактных датчиков. Следует отметить, что при проведении испытаний системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата "дребезг контактов" датчиков не отразился на процессе регистрации параметров, что еще раз подтверждает верное схемотехническое решение прибора регистрации параметров.

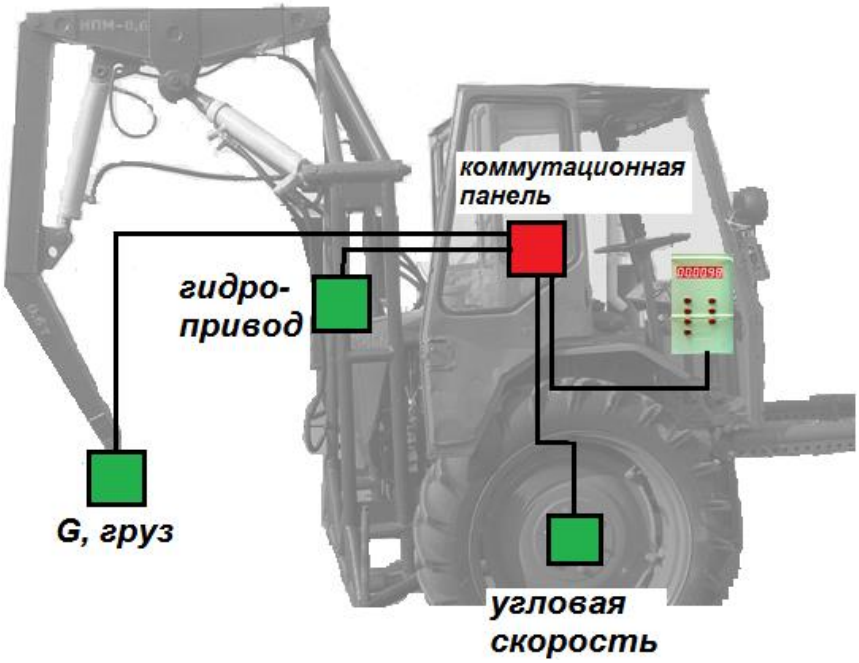


Рис. 3.12. Схема размещения кабелей, коммутационных панелей и прибора мониторинга

Рис. 3.13 Размещение прибора в кабине

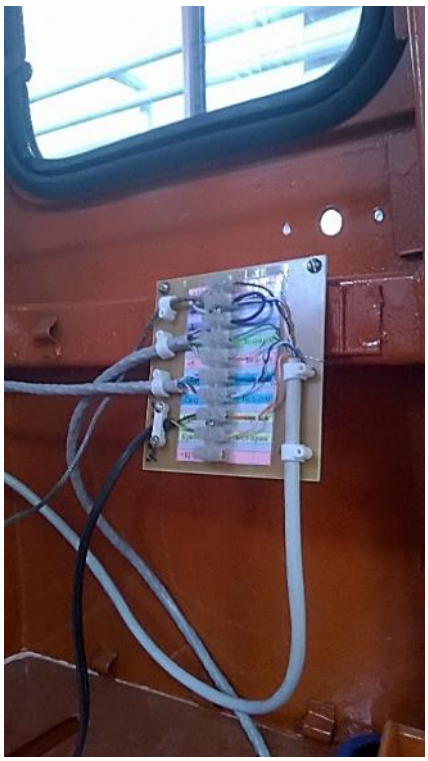


Рис. 3.14. Коммутационная панель для разводки кабелей подключения датчиков

Учет и анализ эксплуатационно-технологической информации является залогом эффективной системы планирования погрузочно-разгрузочных и транспортных работ в сельском хозяйстве. В работе [101] предложена информационная система управления техническим обслуживанием и ремонтом строительных машин, основанная на оценке показателей работы машин и качества выполнения технического обслуживания. Информационная система содержит модули: техобслуживание, каталог, склад, документооборот, администратор. Однако такая информационная система управления оправдывает себя на крупных дорожно-строительных предприятиях.

Для предприятий сельскохозяйственного производства достаточно более простой и компактной системы

анализа эксплуатационно-технологических параметров погрузочных машин, позволяющий оценивать загруженность погрузчиков на конкретных операциях, определять их производительность на различных видах работ и сравнивать с технической производительностью, контролировать техническое обслуживание.

Предложенная система мониторинга и методика определения эксплуатационно-технологических показателей эффективности использования погрузочного агрегата могут применяться практически на всех сельскохозяйственных погрузчиках и манипуляторах вследствие универсальности аппаратной части.

Для обработки регистрируемых эксплуатационно-технологических параметров на стационарном компьютере разработано программное обеспечение на языке *Visual Basic ver*. 6 [136]. Программное обеспечение позволяет по полученным через *COM* – порт данными с прибора регистрации определять время холостого позиционирования рабочего оборудования, время холостых переездов, коэффициент использования гидропривода, коэффициент полезного использования погрузочного агрегата, коэффициент простоя агрегата, коэффициент использования погрузчика по грузоподъемности, коэффициент использования по производительности, эксплуатационную сменную производительности. Для расчета показателей эффективности в программе использованы зависимости (1.1, 1.3, 1.6-1.8) из разд. 1.4, а также формулы из табл. 2.2. разд. 2.2. Скриншот программы представлен на рис. 3.15.

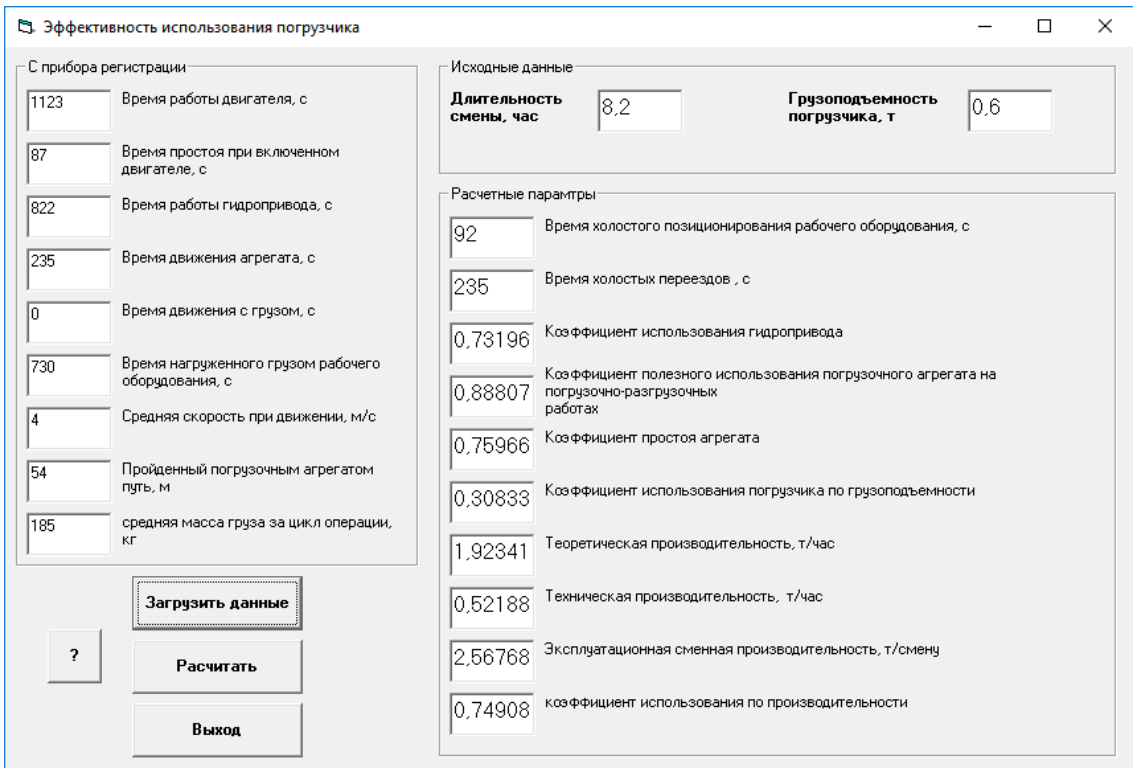


Рис. 3.15. Скриншот программы определения показателей эффективности использования погрузчика по регистрируемым эксплуатационно-технологическим параметрам

3.3. Результаты экспериментальных исследований системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата

Экспериментальные исследования проводились на примере технологического процесса штабелирования рулонов сена на высоту 2,8 м и дальности перевозок до 100 м. Одновременно с регистрацией параметров велся хронометраж составляющих технологического цикла, общее время которого составило

$$T = t_1 + t_2 + \ldots t_{11} \; (T \approx 2{,}5 \text{ мин}), \qquad (3.1)$$

где t_1 – время наклона грузоподъемника вперед для заводки вил под груз ($t_1 \approx 10 \div 15$ с) и подъем груза на 0,3 м; t_2 – время для разворота автопогрузчика ($t_2 = 10 \div 15$ с); t_3 –

время движения автопогрузчика с грузом, с; $t_3 = 3{,}6L/V_n$(L – дальность перевозки, $V_п$ – скорость передвижения с грузом, по условиям охраны труда ее берут не более 10 м/с; t_4 – время установки подъемника в вертикальное положение с грузом на вилах $t_4 \approx 3$ с; t_5 – время подъема вил, с; $t_5 = (H - 0{,}3)60/V_г$; H – высота подъема груза, м, 0,3 – транспортная высота подъема, которая была учтена при определении времени t_1; $V_г$ – скорость подъема груза, м/мин; t_6 – время для укладки груза в штабель, с, $t_6 \approx 8$ с; t_7 – время наклона грузоподъемника назад без груза, с; t_8 – время спуска вил без груза, с; t_9 – время разворота автопогрузчика без груза $t_9 = 10 \div 15$ с; t_{10} – время обратного холостого хода погрузчика, с (аналогично t_3); t_{11} – суммарное время для переключения рычагов, $t_{11} \approx 6 \div 8$ с.

Технологический цикл штабелирования рулонов сена состоит из временных интервалов – тактов, которые графически представлены на диаграмме Ганта (рис. 3.16).

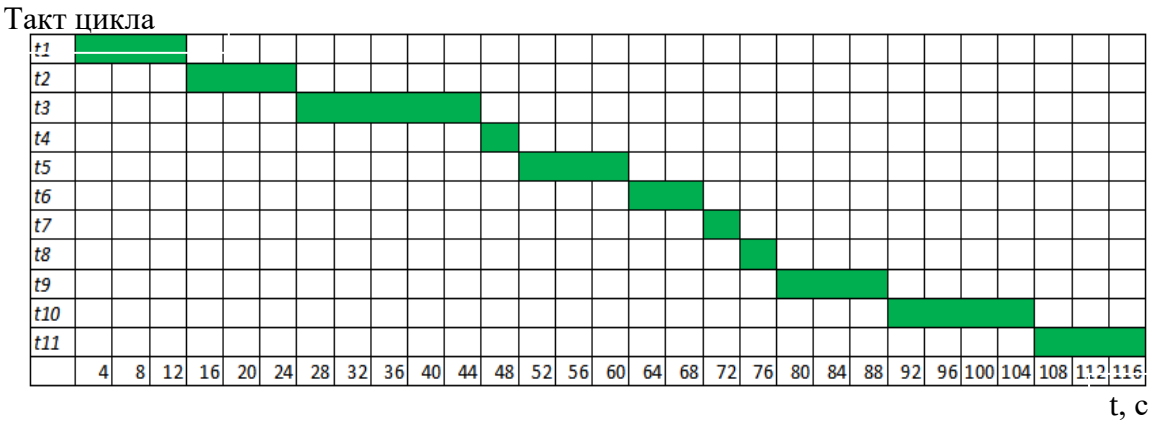


Рис. 3.16. Временная (усредненная) диаграмма технологического цикла погрузки-разгрузки рулонов сена

Соотношение временных составляющих технологического цикла погрузки-разгрузки рулонов сена погрузочным агрегатом представлено на рис. 3.17.

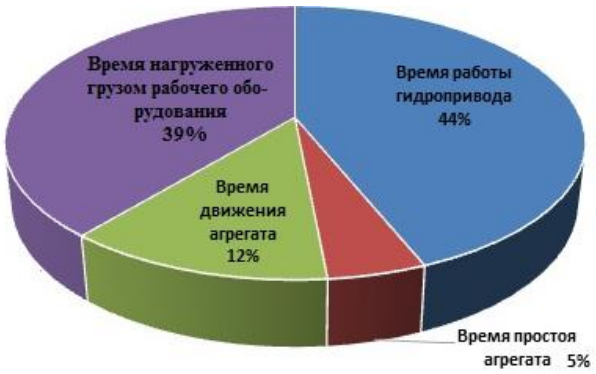


Рис. 3.17. Соотношение временных составляющих технологического цикла погрузки-разгрузки рулонов сена погрузочным агрегатом

На основе регистрируемых временных интервалов для данной технологической операции для погрузочного агрегата получены показатели эффективности технологического процесса:

$K_{гидр}$ = 0,73 – коэффициент использования гидропривода погрузочного агрегата;

$K_{ПИ}$ = 0,89 – коэффициент полезного использования погрузочного агрегата на погрузочно-разгрузочных (погрузочно-транспортных) работах;

$K_{груз}$ = 0,31 – коэффициент использования погрузчика по грузоподъемности;

K_W = 0,75 – коэффициент использования по производительности.

Значения коэффициентов показывают, что есть существенный запас повышения эффективности использования погрузочного агрегата за счет повышения производительности путем более тщательного планирования технологических процессов погрузки-разгрузки грузов.

3.4. Оценка погрешностей измерений и ошибок при экспериментальных исследованиях

Для измерения пройденного пути используется оптический энкодер, точность измерения которого зависит от

количества отверстий в диске, кинематически связанным с колесом шасси. В используемом датчике в диске выполнено 18 отверстий. Тогда угол сектора между соседними отверстиями $\varphi = 2\pi/18 = 0{,}349$ рад. Следовательно, длина дуги нечувствительности будет равна $\Delta S = r\varphi/2 = 410 \cdot 0{,}349/2 = 71{,}5$ мм. Полная длина дуги колеса трактора $S = 2\pi\, r = 2576$ мм, тогда относительная погрешность составит 2,78 % на длине пути, равном длине обода колеса. При длине пути в 10 м погрешность составит не более 0,72 %, и с увеличением длины пути непрерывных переездов ошибка значительно уменьшается, это наглядно видно из графика на рис. 3.18.

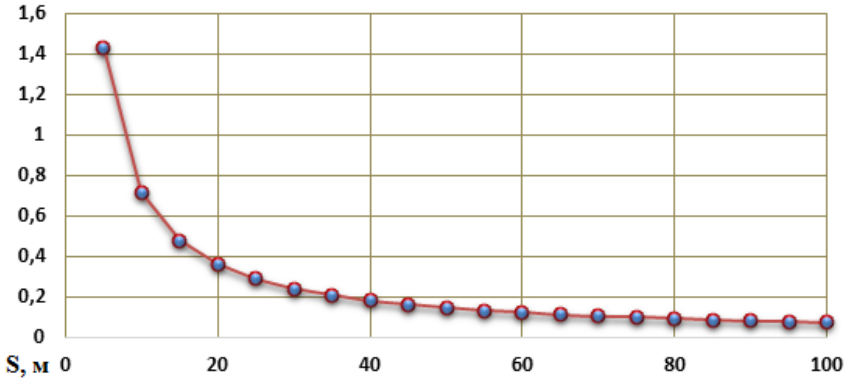


Рис. 3.18. Зависимость относительной ошибки оптического энкодера от пройденного пути в случае непрерывного движения, %

Для одного и того же технологического процесса проведены пятикратные хронометражи технологического цикла погрузки-разгрузки, включающие основные операции:

- подъезд к месту погрузки с исходного положения;
- забор груза;
- отъезд в исходное положение с подъемом груза;
- подъезд к месту разгрузки;
- разгрузка;

- отъезд в исходное положение.

В результате получены значения длительности технологического цикла: 43,3 с, 38,8 с, 42,9 с, 37 с, 38,1 с. На основании этих значений определено среднеквадратическое отклонение при $t_{ср}$ = 40,02 с

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - \overline{t})^2}{n-1}} = 2,89c \quad . \qquad (3.2)$$

Ошибку при определении производительности погрузочного агрегата вычислим по методике, приведенной в [48]. Техническая производительность определялась по выражению (1.3), эксплуатационная сменная производительность по выражению (1.7).

Так как "…ошибка произведения или частной от деления равна сумме относительных ошибок сомножителей или соответственно делимого и частного" [49], то, следуя этому правилу, получим:

$$\frac{\Delta П_{СМ}}{П_{СМ}} = \pm(\frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta T_Ц}{T_Ц}) = \pm(\Delta_1 + \Delta_2) \quad . \qquad (3.3)$$

Предельные ошибки определяются для каждого датчика и регистрирующего прибора Δ_1 = 0,25, Δ_2 = 0,55. Тогда

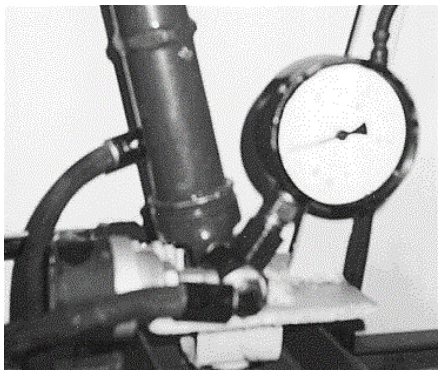
$$\frac{\Delta П_{СМ}}{П_{СМ}} = \pm(0,25 + 0,55) = \pm 0,8\% \qquad (3.4)$$

Таким образом, ошибка вычисления сменной производительности по регистрируемым параметрам не превышаем 1 %.

3.5. Реализация подсистемы контроля давления и перегрузок в гидроприводе

Регистрация давления в гидроприводе осуществлялась посредством реохордного датчика давления МД-150. Сигнал от датчика в виде тока через согласующее устройство (рис. 3.19) подается на последовательный порт микрокомпьютера. Принцип измерения аналоговой величины сопротивления через последовательный *COM*-порт (*RS*-232) основан на измерении времени *T* между скачком напряжения от –10 В до +10 В на линии *DTR* и переходом через пороговый логический уровень линии *DSR*. Пороговое напряжение от уровня логического "0" и к уровню логического "1", соответствующее линии *DSR*, обычно равно 2В относительно *GND* ("земли") или 12В относительно линии *TDX*. Входной меандр составляет $\frac{12\,\text{В}\cdot 100\%}{20\,\text{В}} = 60\%$, что очень близко к теоретическому значению реакции *RC*-цепочки – 63,2 %.

а)



б)

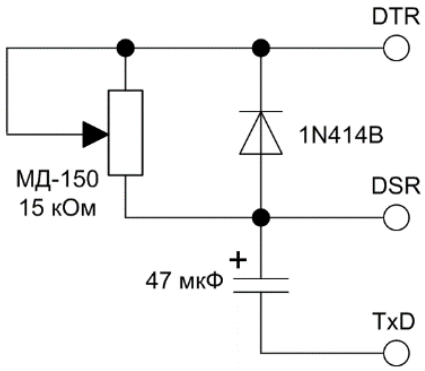


Рис. 3.19. Датчик давления (а) и схема согласования датчика с микрокомпьютером (б)

Сопротивление реохорда вычисляется по формуле

$$R = 2200 + 7800 \cdot \frac{(T - 76300)}{(294600 - 76300)}, \text{ Ом.} \qquad (3.4)$$

Программа реализована на *Visual Basic* 6.0 и использует стандартные функции *TIMEINITUS* и *TIMEREADUS* динамической библиотеки *port. dll* (время вывода 100 с) [136].

Для определения точности показаний датчика давления взят ряд значений (МПа): 5,35; 5,40; 5,17; 5,34; 5,26; 5,37; 5,38; 5,41; 5,38; 5,37.

Истинное значение измеряемой величины равно

$$\overline{a} = \Sigma a_i/n = 53{,}43/10 = 5{,}34\ МПа, \qquad (3.5)$$

где $n = 10$ – число измерений.

Далее в соответствии со стандартной методикой [48] среднеквадратичная погрешность равна:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(€_i - \overline{€})^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{0{,}0489}{9}} = \pm 0{,}074 Mn€. \qquad (3.6)$$

Отсюда наибольшая возможная статистическая ошибка при надежности результатов опыта $\alpha = 0{,}95$ [48]:

$$\Delta n(\overline{a}) = \pm\ 0{,}074 \cdot 3 = \pm\ 0{,}22\ \text{МПа}. \qquad (3.7)$$

Относительная ее величина составляет

$$\frac{\Delta_n(\overline{a})}{a} = \pm\frac{0{,}22}{5{,}34} \cdot 100 = 4{,}12\% \qquad (3.8)$$

В результате экспериментальных исследований определены эксплуатационная производительность погрузочного агрегата, эксплуатационные показатели эффективности использования погрузочного агрегата.

Погрешность измерений бортовой комплексной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров не превышает 2,78 %, ошибка вычисления производительности погрузочного агрегата по регистрируемым данным составляет 0,8 %.

Погрешность системы контроля давления и перегрузок в гидроприводе не превышает 4,12 %.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОГРУЗОЧНОГО АГРЕГАТА

Экспериментальные исследования системы контроля устойчивого положения погрузочного агрегата подразделялись на два этапа: испытание датчика с целью проверки соответствия его характеристик расчетным и проверка соответствия результатов моделирования экспериментальным исследованиям при различных режимах и условиях работы системы контроля положения погрузочного агрегата.

При проведении экспериментальных исследований ставились задачи:

- проверить работоспособность датчика и всей системы;
- установить соответствие реальной конструкции математической модели;
- опытным путем определить поведение системы при различных условиях эксплуатации и динамических нагружениях с целью оценки точности датчика и системы в целом.

Для решения задач экспериментальных исследований на лабораторном стенде проводилось исследование:

- возмущающего воздействия на датчик в горизонтальной плоскости – имитация неравномерного движения (разгон и торможение агрегата);
- горизонтального и углового колебательного движе-

ния корпуса датчика – имитация движения по неровностям, в т. ч. виброударных нагрузок на датчик;

- реакции оператора на сигналы информационной панели.

4.1. Опытный образец бортовой информационной системы контроля устойчивого положения погрузочного агрегата

Основным объектом исследования выступал датчик положения погрузочного агрегата пространстве [86, 90].

Датчик положения (рис. 4.1) состоит из герметичного корпуса 1, крышки 2, на корпусе датчика имеются проушины 3 для крепления датчика, внутри корпуса на оси 4 подвешен маятник 5, на конце которого установлен постоянный магнит 6, в маятнике выполнены дроссельные отверстия 7. В корпусе датчика на дуге радиуса вращения магнита 6 крепится секторная рейка 8 с герконами S1, S2, S3, S4, S5, выводы от герконов выводятся наружу из корпуса 1 датчика посредством разъема 9. В герметичном корпусе 1 находится демпфирующая жидкость 10, пробка 11 герметизирует заливное отверстие в корпусе 1.

Внешний вид маятникового датчика положения погрузочного агрегата представлен на рис. 4.2.

Бортовая информационная система обеспечения безопасности работы мобильного погрузочного агрегата состоит из датчиков угла наклона 1 и 2, датчиков усилий 3 и 4, информационной панели 5 и стабилизатора напряжения 6 (рис. 4.3). Датчики угла наклона 1 и 2 расположены на

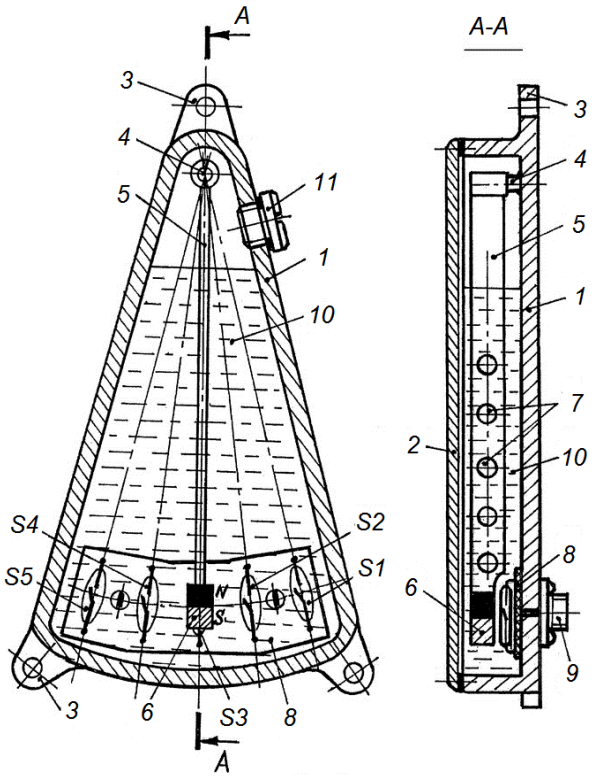


Рис. 4.1. Эскиз датчика положения

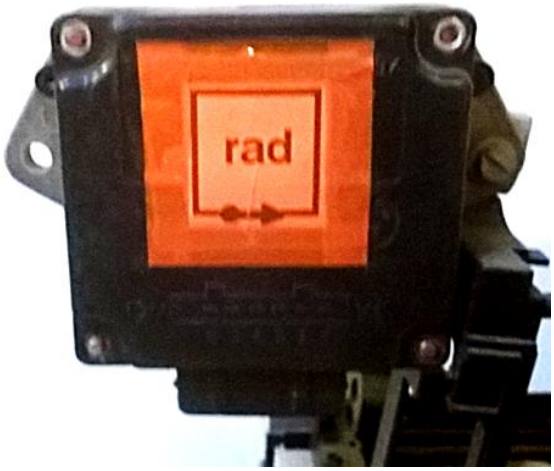


Рис. 4.2. Внешний вид маятникового датчика положения погрузочного агрегата

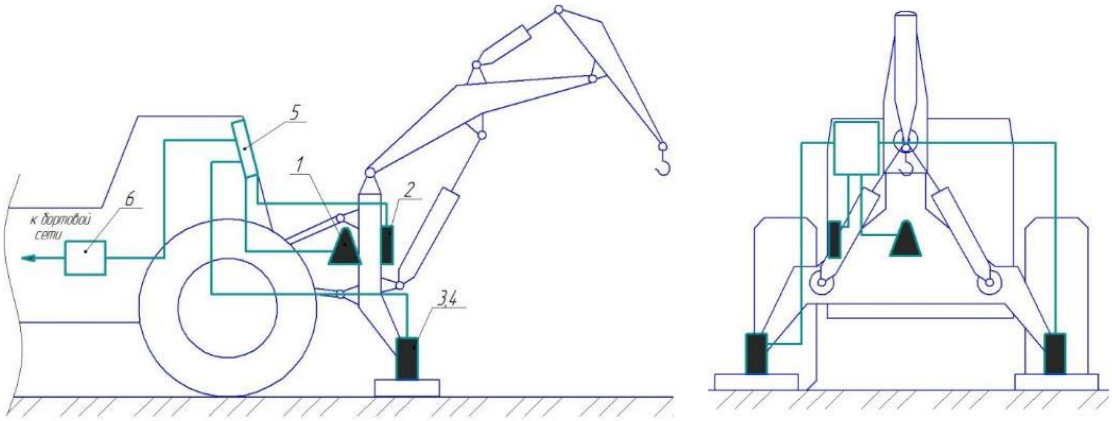


Рис. 4.3. Погрузочный агрегат и схема расположения основных элементов бортовой информационной системы безопасности

раме навесного манипулятора в продольной и поперечной плоскостях соответственно. Обоснование параметров датчика проведено в гл. 2.

В качестве источника сигнала угла наклона датчиков 1 и 2 (рис. 4.4а, б) используются герметизированные маг-

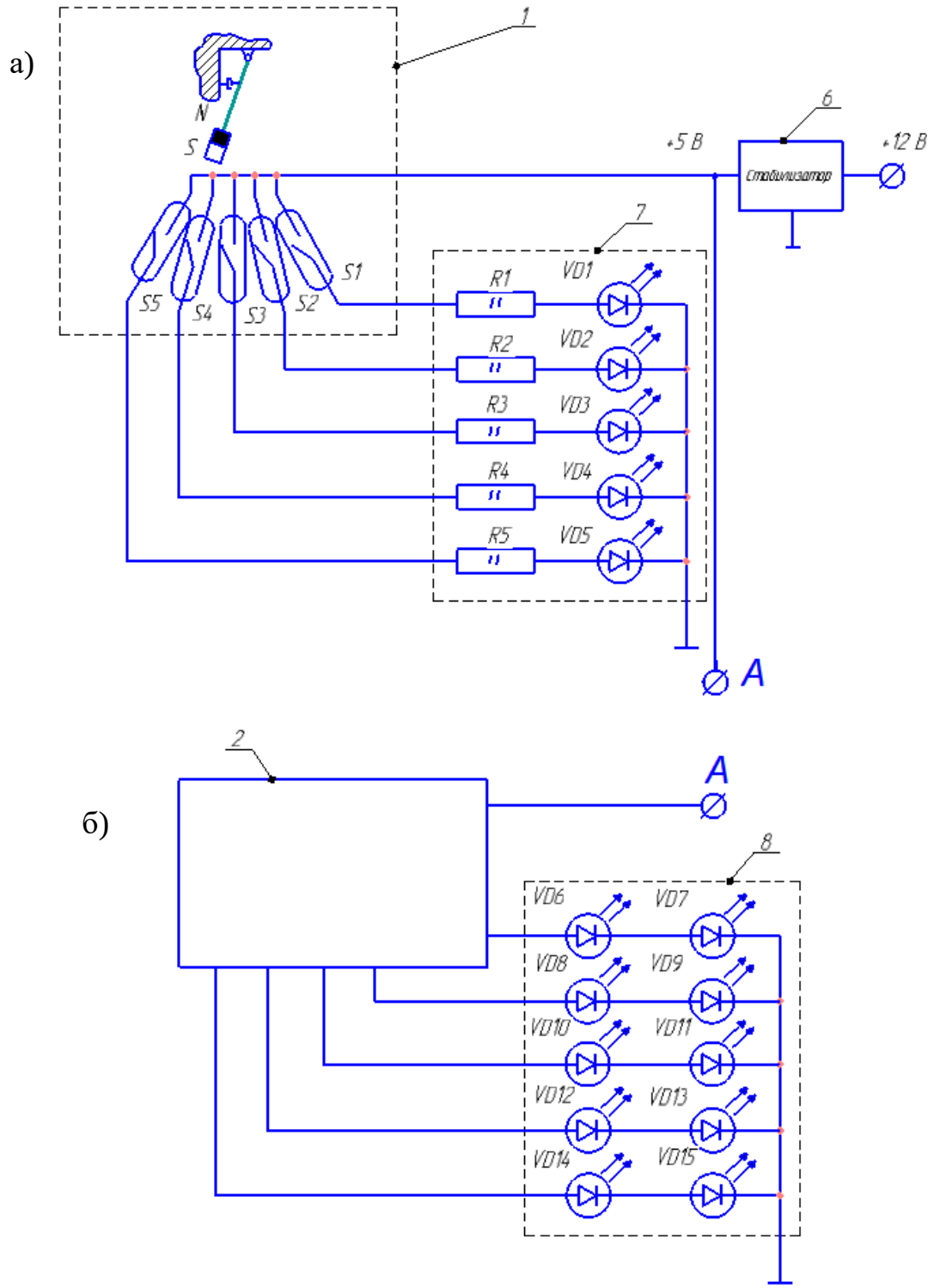


Рис. 4.4. Принципиальная схема бортовой информационной системы

нитоуправляемые контакты (герконы) *S*1, *S*2, *S*3, *S*4 и *S*5, один из выводов которых подключен к положительному выходу стабилизатора 6, другие выводы подключены к токоограничивающим резисторам *R*1, *R*2, *R*3, *R*4 и *R*5 со-

ответственно, а резисторы в свою очередь соединены с анодами светодиодов *VD*1, *VD*2, *VD*3, *VD*4 и *VD*5 соответственно, катоды которых подключены на общий провод – "массу". Светодиоды *VD*1-*VD*5 образуют сегмент 7 индикации наклона погрузочного агрегата в продольной плоскости информационной панели 5, причем *VD*3 выполнен зеленого свечения, светодиоды *VD*2 и *VD*4 – оранжевого, а *VD*1 и *VD*5 – красного.

Сегмент 8 (см. рис. 4.4б) информационной панели 5 состоит из пяти последовательно соединенных светодиодов *VD*6 и *VD*7, *VD*8 и *VD*9, *VD*10 и *VD*11, *VD*12 и *VD*13, *VD*14 и *VD*15. Аноды светодиодов *VD*6, *VD*8, *VD*10, *VD*12 и *VD*14 соединяются с герконами датчика 2 угла наклона погрузочного агрегата в поперечной плоскости, а катоды светодиодов *VD*7, *VD*9, *VD*11, *VD*13 и *VD*15 подключены на "массу". Светодиоды *VD*10 и *VD*11 выполнены зеленого свечения, *VD*8, *VD*9, *VD*12 и *VD*13 – оранжевого, а *VD*6, *VD*7, *VD*14 и *VD*15 – красного.

Датчики усилий 3 и 4 (рис. 4.5) представляют собой тензозвенья, соединенные соответственно с блоками 9 и 10 усиления и индикации сигнала. Блок 9 состоит из тензоусилителя *D*1, выходного транзистора *VT*1, токоограничивающих резисторов *R*6 – *R*14, диодов *VD*17, *VD*19, *VD*21, *VD*23, *VD*25, *VD*27 и светодиодов *VD*16, *VD*18, *VD*20, *VD*22, *VD*24, *VD*26, *VD*28 образующих сегмент 9 индикации усилия на опоре погрузочного агрегата. Блок 10 устроен аналогично блоку 9. Светодиод *VD*16 выполнен синего свечения, светодиоды *VD*18, *VD*20 – зеленого, *VD*22, *VD*24 – оранжевого, *VD*26 – красного, *VD*28 – красный мигающий.

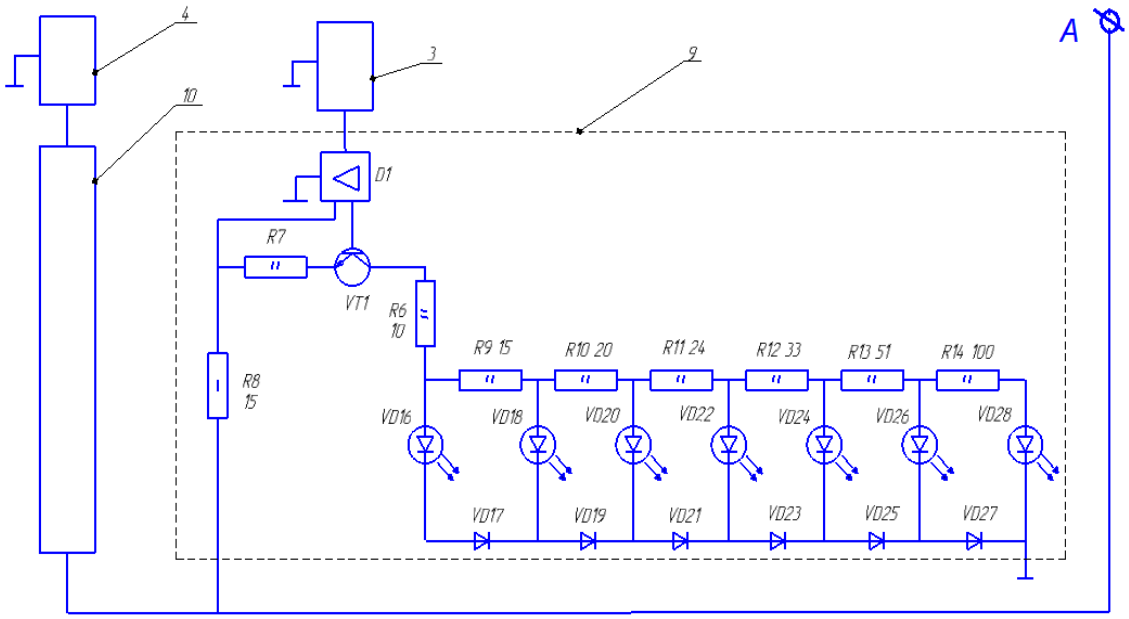


Рис. 4.5. Часть принципиальной схемы бортовой информационной системы, отвечающей за измерение и индикацию усилий на опоры погрузочного агрегата

На схемах (см. рис. 4.4, 4.5) точка *А* является общей для всех трех схем.

На информационной панели 5 (см. рис. 4,4) ряд светодиодов *VD*6, *VD*8, *VD*10, *VD*12, *VD*14 расположен слева по дуге сверху вниз, а ряд *VD*7, *VD*9, *VD*11, *VD*13, *VD*15 справа по дуге снизу вверх. Информационная панель 5 состоит из сегмента 7 индикации наклона погрузочного агрегата в продольной плоскости, сегмента 8 индикации наклона погрузочного агрегата в поперечной плоскости, сегментов 9 и 10 индикации усилия на опорах погрузочного агрегата. Информационная панель 5 размещается на стекле кабины оператора немного смещенной от линии обзора рабочего пространства исполнительного органа погрузочного агрегата (рис. 4.6).

Визуализация угла наклона корпуса погрузочного манипулятора (рамы) относительно вертикали в продольной

плоскости (тангаж) отображается в центре информационной панели в области "А" (рис. 4.7), наклон корпуса погрузочного манипулятора относительно вертикали в поперечной плоскости (крен) отображается в областях "Б" информационной панели. Области панели "В" сигнализируют случаи повышения нагрузки на опоры и предаварийные случаи, предшествующие отрывы опоры от поверхности и последующему опрокидыванию агрегата. Если индикация происходит только в области "Г", то агрегат занял устойчивое положение, о чем свидетельствует зеленый цвет индикаторов.

Рис. 4.6. Внешний вид информационной панели

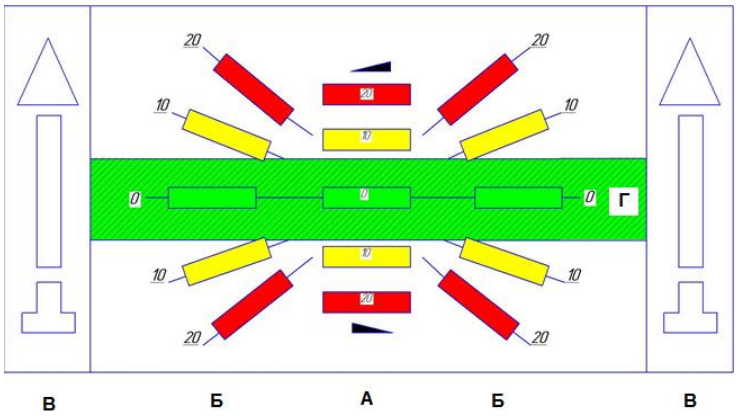


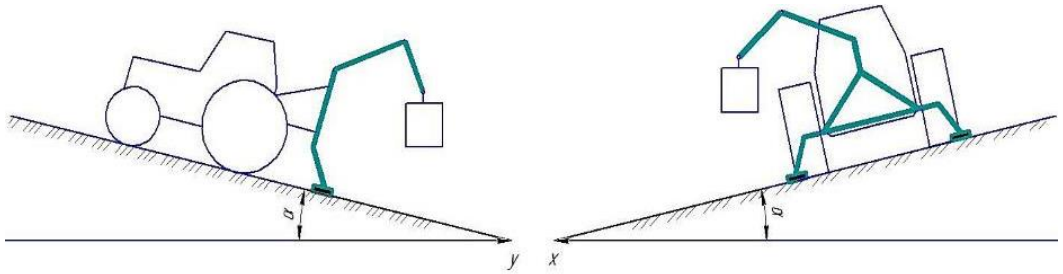
Рис. 4.7. Зоны информационной панели

Желтый цвет индикаторов характеризует отклонение от горизонтального положения, но в пределах допустимых значений, красный цвет – приближение к критическим значениям, и необходимым действиям оператора по предотвращению аварийной ситуации.

Система работает следующим образом. В случае, когда погрузочный агрегат занимает горизонтальное положение, как в продольной, так и в поперечной плоскостях, и корпуса датчиков 1 и 2 находятся в вертикальном поло-

жении, замкнутым оказывается геркон *S*3 датчиков и на сегменте 7 информационной панели светится зеленый светодиод *VD*3, на левом и правом участках сегмента 8 светятся зеленые светодиоды *VD*10 и *VD*11 (рис. 4.8, п. 1 табл.) – это сигнализирует оператору об устойчивом положении погрузочного агрегата.

В случае, когда погрузочный агрегат займет положение 1 (рис. 4.8) – наклон относительно продольной оси назад, корпус датчика 1 наклонится и замкнется геркон *S*5,



Положение 1 Положение 2

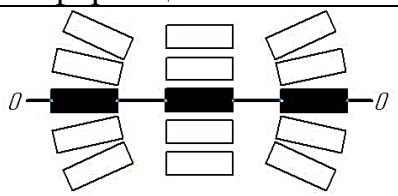
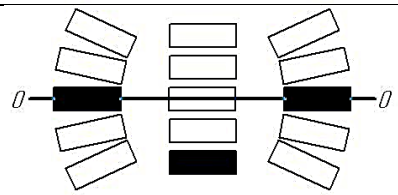
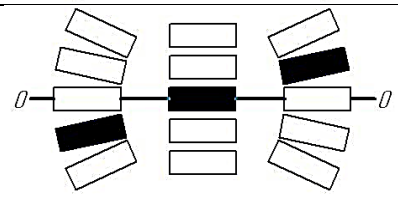
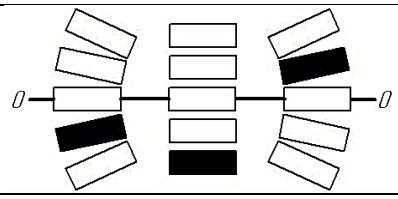
№	Положение погрузочного агрегата	Индикация на информационной панели
1	Горизонтальное положение, как в продольной, так и в поперечной плоскостях	
2	Наклон относительно продольной оси *y* (положение 1)	
3	Наклон относительно поперечной оси *x*	
4	Наклон относительно поперечной (*x*) продольной (*y*) осей (положение 1 + положение 2))	

Рис. 4.8. Варианты индикации на информационной панели

начнет светиться светодиод красного цвета *VD*5, сигнализирующий о критическом угле наклона и принятии срочного решения о предотвращении опрокидывания (см. рис. 3.21, п. 2 табл.), при этом светодиоды *VD*10 и *VD*11 останутся светиться. Если погрузочный агрегат займет положение 2 (см. рис. 4.8) – небольшой наклон относительно поперечной оси наклонит корпус датчика 2 и соответственно начнут светиться светодиоды *VD*12 и *VD*13, расположенные в сегменте 8. Оранжевое свечение светодиодов предупреждает оператора о недопущении дальнейшего наклона агрегата.

В том случае, когда погрузочный агрегат занимает положение с одновременным наклоном, как в продольной, так и в поперечной плоскостях, например, сочетание положения 1 и положения 2 (см. рис. 4.8, п. 4 табл.).

На информационной панели 5 будут светиться светодиоды *VD*5 (красный), *VD*12 и *VD*13 (оранжевые), при этом оператор должен принять решении о дальнейшем продолжении работ, либо изменении положения агрегата.

При работе погрузочного агрегата, давление на опоры меняются в широких пределах, это зависит от положения погрузочного агрегата, вылете стрелы, положении стрелы относительно продольной оси и массы груза.

На сегментах 9 и 10 информационной панели отображаются усилия на опорах. Если опоры не касаются опорной поверхности, сигналов от датчиков 3 и 4 не поступает и светодиоды *VD*16, *VD*18, *VD*20, *VD*22, *VD*24, *VD*26, *VD*28 светиться не будут. Если погрузочный агрегат работает при горизонтальном положении с грузами

средней массы от максимально предусмотренной и стрела находится в продольной плоскости агрегата, то сигналы от датчиков 3 и 4 будут одинаковы, сигнал усиливается на тензоусилителе *D*1 и поступает на базу транзистора *VT*1, выполняющего роль электронного ключа, усиленный сигнал с коллектора поступает на блок индикации из светодиодов и токоограничивающих резисторов, при описанных выше условиях светиться будут светодиоды *VD*16, *VD*18, *VD*20, *VD*22. Если нагрузка на опору повысится до критического значения, засветятся все светодиоды, включаю верхний по схеме мигающий светодиод *VD*28, что говорит о преддверии аварийной ситуации, если нагрузка на опору уменьшится до близкой к нулю, останется светиться только синий светодиод *VD*16.

4.2. Лабораторная установка для испытания датчика положения и имитации различных режимов его работы

Для решения задач экспериментального исследования была создана лабораторная установка, состоящая из имитационного стенда, ручной системы управления для отладки и тарировки, микрокомпьютера выполняющего роль АЦП, ноутбука для регистрации, сохранения и обработки экспериментальных данных (рис. 4.9).

Имитационный стенд состоит из неподвижной стойки 1 (рис. 4.10), на которой шарнирно установлено основание 2. Основание может поворачиваться относительно точки *A*. На основании 2 с возможностью поступательного перемещения относительно его установлена в пазах 3 плат-

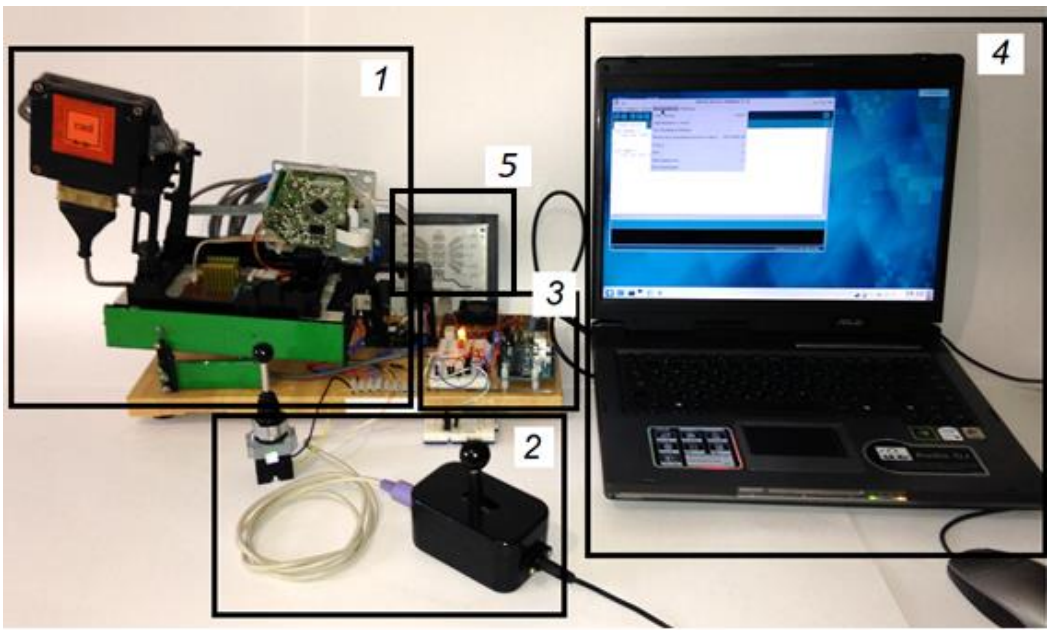


Рис. 4.9. Внешний вид лабораторной установки: 1 – имитационный стенд; 2 – ручная система управления; 3 – микрокомпьютер на базе *ATmega*328; 4 – ноутбук; 5 – информационная панель

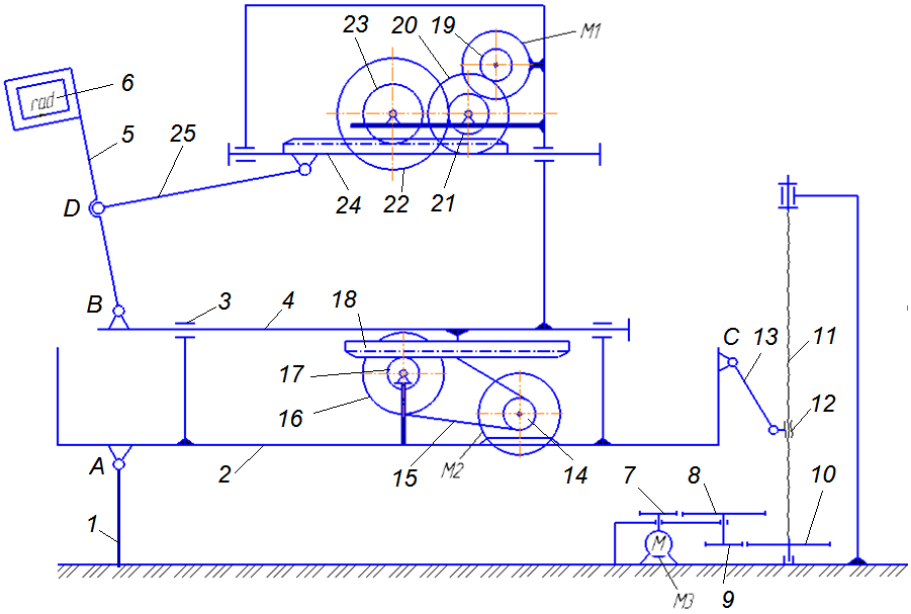


Рис. 4.10. Кинематическая схема имитационного стенда

форма 4. К платформе 4 крепится шарнирно в точке *B* коромысло 5, на конце которого установлен испытуемый датчик положения 6.

Степень подвижности датчика относительно стойки составляет $W = 3$, каждая подвижность управляется электродвигателем постоянного тока посредством механиче-

ских передач. В конечном счете интересны только перемещение, скорость и ускорение коромысла, а в частности, корпуса датчика положения. Возможных вариантов движения датчика несколько: от различных приводов и при сложении двух и трех движений. В целом движение датчика является сложным. Сначала рассмотрим каждое движение по отдельности [54, 116].

Привод основания. На стойке 1 установлен электродвигатель постоянного тока *М*3, вал которого связан с редуктором, состоящим из зубчатых колес 7, 8, 9, 10 с числом зубьев соответственно z_7, z_8, z_9, z_{10}. Зубчатые колеса 8 и 9 спарены, вал колеса 10 является продолжением винтовой передачи, состоящей из винта 11 и гайки 12, к которой шарнирно крепится шатун 13. С другой стороны, шатун 13 соединен шарнирно с основанием 2 в точке *С*.

Передаточное отношение редуктора

$$u_{7\text{-}10} = (z_7 \cdot z_9)/(z_8 \cdot z_{10}) = (40 \cdot 36)/(12 \cdot 12) = 10 \qquad (4.1)$$

Частота вращения винта 11 при номинальной частоте вращения вала электродвигателя *М*3 $n_7 = 750$ об/мин.

$$n_{11} = n_7/u_{7\text{-}10} = 750/10 = 75 \text{ об/мин.} \qquad (4.2)$$

Скорость гайки 12

$$V_{12} = z \cdot p \cdot n_{11}/60 = 1 \cdot 2{,}5 \cdot 30/75 = 0{,}1 \text{ м/с,} \qquad (4.3)$$

где z – число заходов резьбы винта; p – шаг резьбы винта, мм.

Для определения скорости Vc воспользуемся теоремой о скорости точки фигуры, находящейся в плоскопараллельном движении [54]:

$$\overline{V}_C = \overline{V}_{12} + \overline{V}_{CF}, \qquad (4.4)$$

где $V_{CF} = \omega_{13} \cdot l_{13}$ – относительная скорость.

Выражение 4.4 спроецируем на оси координат (рис. 4.11) и получим следующие уравнения:

$$V_C sin\alpha = \omega_{13} l_{13} cos\beta, \quad (4.5)$$

$$V_C cos\alpha = V_{12} - \omega_{13} l_{13} sin\beta. \quad (4.6)$$

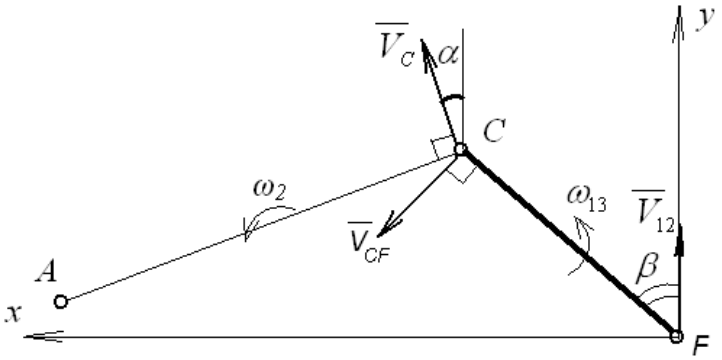


Рис. 4.11. К определению скоростей и ускорений точек основания

Из выражения 4.5 найдем угловую скорость звена 13 $\omega_{13} = \dfrac{V_C \cdot \sin\alpha}{l_{13}\cos\beta}$, подставляя ее

в выражение 4.6 получим зависимость линейной скорости точки *C* от скорости гайки и изменения углов наклона звена:

$$V_C = \frac{V_{12}}{\cos\alpha + \sin\alpha \cdot tg\beta}. \quad (4.7)$$

Как видно, скорость *Vc* не является величиной постоянной и изменяется по мере перемещения гайки 12, соответственно будет присутствовать ускорение.

Зная V_C найдем угловую скорость основания 2

$$\omega_2 = \frac{V_C}{AC}. \quad (4.8)$$

Угловое ускорение основания

$$\varepsilon_2 = \frac{d\omega_2}{dt}. \quad (4.9)$$

Скорость точки *B*

$$V_B = \omega_2 \cdot h, \qquad (4.10)$$

где h – плечо.

Ускорение точки B

$$a_B = \sqrt{(a_B^\tau)^2 + (a_B^n)^2}, \qquad (4.11)$$

где $a_B^\tau = \varepsilon_2 h$ – касательное ускорение точки B; $a_B^n = \omega_2^2 h$ – нормальное ускорение точки B.

Характер изменения скорости B представлен на рис. 4.12а, изменение ускорения точки B – на рис. 4.12б.

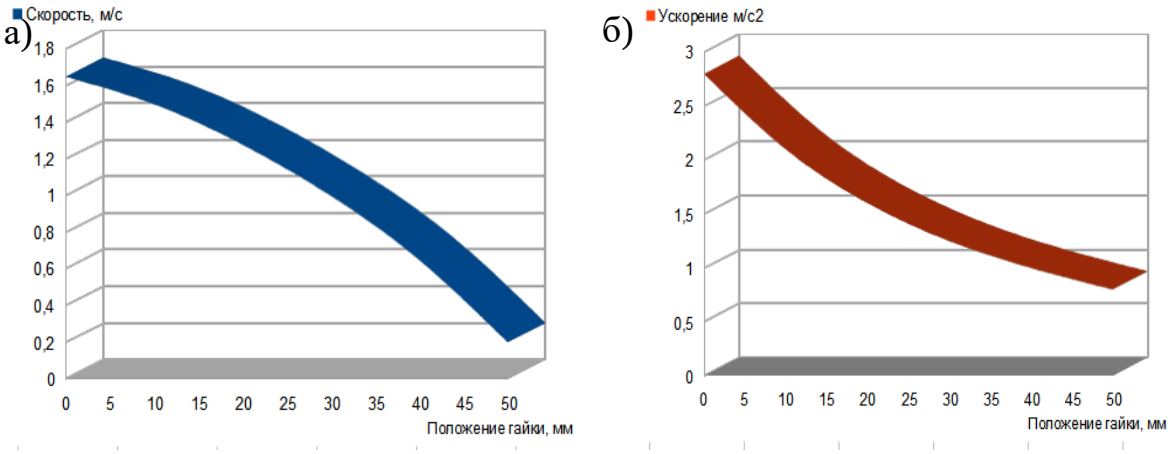


Рис. 4.12. Зависимость линейных скорости (а) и ускорения (б) точки B от положения гайки 12 линейного привода стенда

Привод платформы. На основании 2 установлен электродвигатель постоянного тока $M2$, на валу которого установлен шкив 14, вращение от которого посредством ремня 15 передается на ведомый шкив 16, жестко связанным с зубчатым колесом 17. Зубчатое колесо предает движение зубчатой рейке 18, в свою очередь жестко связанной с платформой 4, обеспечивая ее перемещение относительно основания 2.

Передаточное отношение редуктора $u_{14\text{-}16} = d_{16}/d_{14} = 22/5 = 4{,}4$.

Частота вращения колеса 17 при номинальной частоте вращения вала электродвигателя $M2$ $n_{14} = 350$ об/мин

$$n_{17} = n_{14}/u_{14\text{-}16} = 350/4{,}4 = 79{,}54 \text{ об/мин} \qquad (4.12)$$

Угловая скорость колеса 17

$$\omega_{17} = \pi \cdot n_{17}/30 = 3{,}14 \cdot 79{,}54/30 = 8{,}32 \text{ с}^{-1}, \qquad (4.13)$$

при этом линейная скорость зубчатой рейки 18 и платформы 4 на всем диапазоне перемещения остается величиной постоянной и составляет

$$V_{18} = V_4 = \omega_{17} \cdot r_{17} = 8{,}32 \cdot 0{,}012 = 0{,}1 \text{ м/с}. \qquad (4.14)$$

Привод коромысла. На платформе 4 установлен электродвигатель постоянного тока $M1$, вал электродвигателя связан с редуктором, состоящим из зубчатых колес 19, 20, 21, 22, 23 с числом зубьев соответственно z_5, z_6, z_7, z_8 и зубчатой рейки 24, связанной шарнирно с шатуном 25. Шатун 25 другим концом шарнирно связан с коромыслом 5 в точке D.

Передаточное отношение редуктора

$$u_{19\text{-}22} = (z_{20} \cdot z_{22})/(z_{19} \cdot z_{21}) = (40 \cdot 36)/(12 \cdot 12) = 10. \qquad (4.15)$$

Частота вращения винта при номинальной частоте вращения вала электродвигателя $M1$ $n_{19} = 950$ об/мин

$$n_{23} = n_{19}/u_{19\text{-}22} = 950/10 = 95 \text{ об/мин}. \qquad (4.16)$$

Угловая скорость колеса 23

$$\omega_{23} = \pi \cdot n_{23}/30 = 3{,}14 \cdot 95/30 = 9{,}94 \text{ с}^{-1}, \qquad (4.17)$$

при этом линейная скорость зубчатой рейки 24 на всем диапазоне перемещения остается величиной постоянной и составляет

$$V_{24} = \omega_{23} \cdot r_{23} = 9{,}94 \cdot 0{,}015 = 0{,}15 \text{ м/с}. \qquad (4.18)$$

Аналогично определения скоростей и ускорений звеньев привода основания, определим скорость и ускорение точки D коромысла.

$$\overline{V}_D = \overline{V}_{24} + \overline{V}_{DE}, \qquad (4.19)$$

где $V_{DE} = \omega_{25} l_{25}$ – относительная скорость.

Выражение 4.19 в проекциях на оси координат (рис. 4.13) примет вид:

$$V_D sin\varphi = \omega_{25} l_{25} cos\delta, \qquad (4.20)$$

$$V_D cos\varphi = V24 - \omega_{25} l_{25} sin\delta. \qquad (4.21)$$

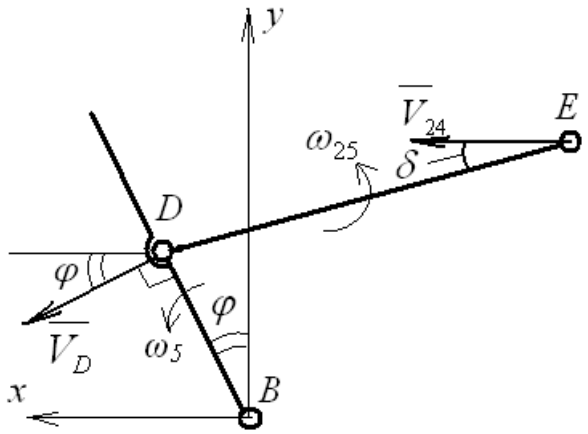


Рис. 4.13. К определению скоростей и ускорений точек коромысла

Решая совместно уравнения 4.20 и 4.21 получим зависимость линейной скорости точки D от скорости рейки и изменения углов наклона шатуна:

$$V_D = \frac{V_{24}}{\cos\varphi + \sin\varphi \cdot tg\delta}. \qquad (4.22)$$

Скорость V_D не является величиной постоянной и изменяется по мере углового перемещения коромысла, характер изменения скорости и ускорения точки D аналогичен характеру изменения кинематических параметров точки B (рис. 4.12), различия лишь в значениях величины скорости и ускорения.

Угловая скорость коромысла 5

$$\omega_5 = \frac{V_D}{DB}. \qquad (4.23)$$

Угловое ускорение коромысла

$$\varepsilon_5 = \frac{d\omega_5}{dt}. \qquad (4.24)$$

Ускорение точки D

$$a_B = \sqrt{(a_B^\tau)^2 + (a_B^n)^2}\,, \qquad (4.25)$$

где $a_D^\tau = \varepsilon_5 DB$ – касательное ускорение точки *D;* $a_D^n = \omega_5^2 DB$ – нормальное ускорение точки *D*.

Привод основания обеспечивает его наклон в пределах угла α = 21º (рис. 4.14), привод коромысла обеспечивает движение датчика в пределах угла φ = 35º.

Совместная работа приводов основания и коромысла позволяет увеличить сектор угла наклона испытуемого датчика до $\alpha + \varphi$ = 56º.

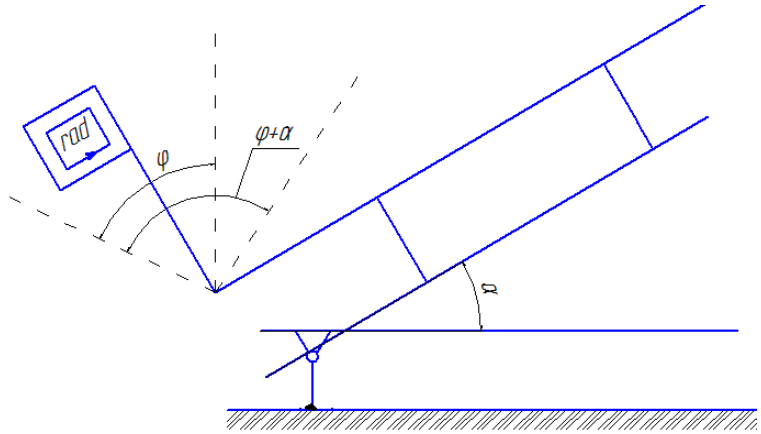


Рис. 4.14. Обеспечиваемый угловой сектор перемещения датчика положения

Таблица 4.1

Техническая характеристика стенда

Напряжение питания, В	12 ± 0,5
Максимальный потребляемый ток, А	0,85
Обеспечиваемое количество степеней подвижности	3
Диапазон углов наклона датчика, градусов	–21…+35
Диапазоны линейных скоростей перемещения датчика, м/с	0,25-1,60
Диапазоны линейных ускорений датчика, м/с^2	0,75-2,65
Способы задания управляющих движений звеньев	Ручное, программное (через LPT порт ПК или программатор)
Габариты, мм	300 × 200 × 250
Масса, кг	1,6

4.3. Результаты экспериментальных исследований системы контроля устойчивого положения погрузочного агрегата

Изменение величины углов поворотных частей лабораторной установки регистрировались при помощи реохордных датчиков на основе резисторов переменного сопротивления с линейной характеристикой и диапазоном измерения 0-120 (рис. 4. 15).

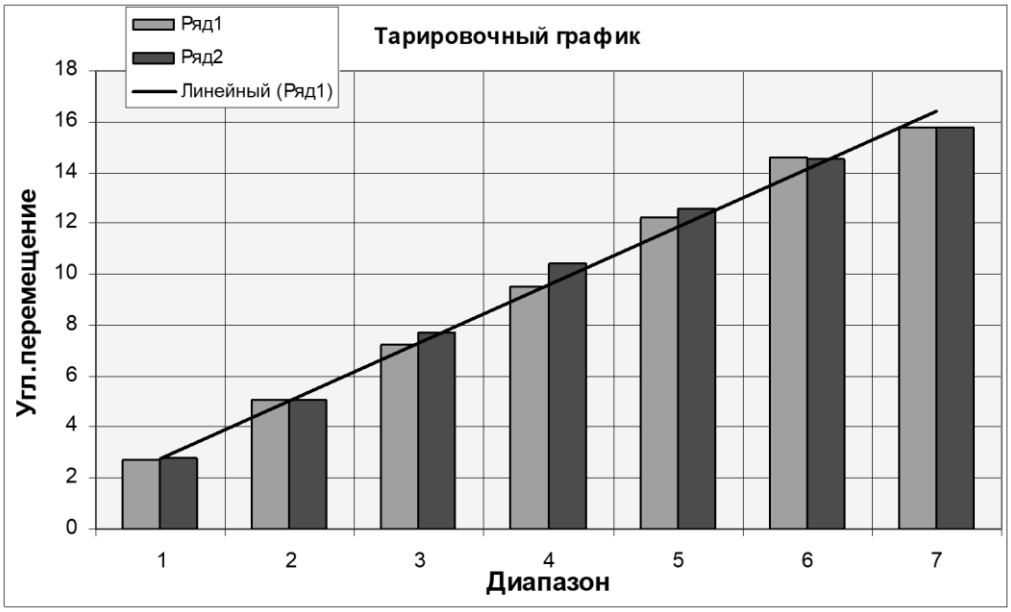


Рис. 4.15. Тарировочный график датчика угла порота звена (по вертикали – углы в градусах; по горизонтали – точка фиксирования значения на осциллографе; ряд 1 – поворот по часовой стрелке; ряд 2 – поворот против часовой стрелки)

Так как реохордные датчики выбраны с линейной характеристикой (*А*), то по полученным тарировочным данным в *MS Excel* строилась линейная аппроксимирующая кривая, а погрешность тарировки оценивали в специально созданной программе на *Turbo Pascal*.

Аналогичным образом была определена погреш-

ность остальных датчиков, которая находится в пределах 2,50-0,78 %.

Тарировка всех типов датчиков проводилась с трехкратным повторением. Регистрация измеряемых параметров осуществлялась пятиканальным осциллографом, собранным на базе микрокомпьютера *Arduino UNO* со встроенным АЦП [37]. Питание микрокомпьютера осуществлялось от штатного *USB*-порта персонального компьютера, через который же и осуществлялась передача данных. Виртуальная часть осциллографа реализована на языке *C#* в среде *Arduino IDE v.1.0.5* (рис. 4.16) – опрос портов, регистрация сигналов и передача через последовательный порт ПК в программную среду *Processing v.2.2.1* (рис. 4.16) – масштабирования и визуализации сигналов.

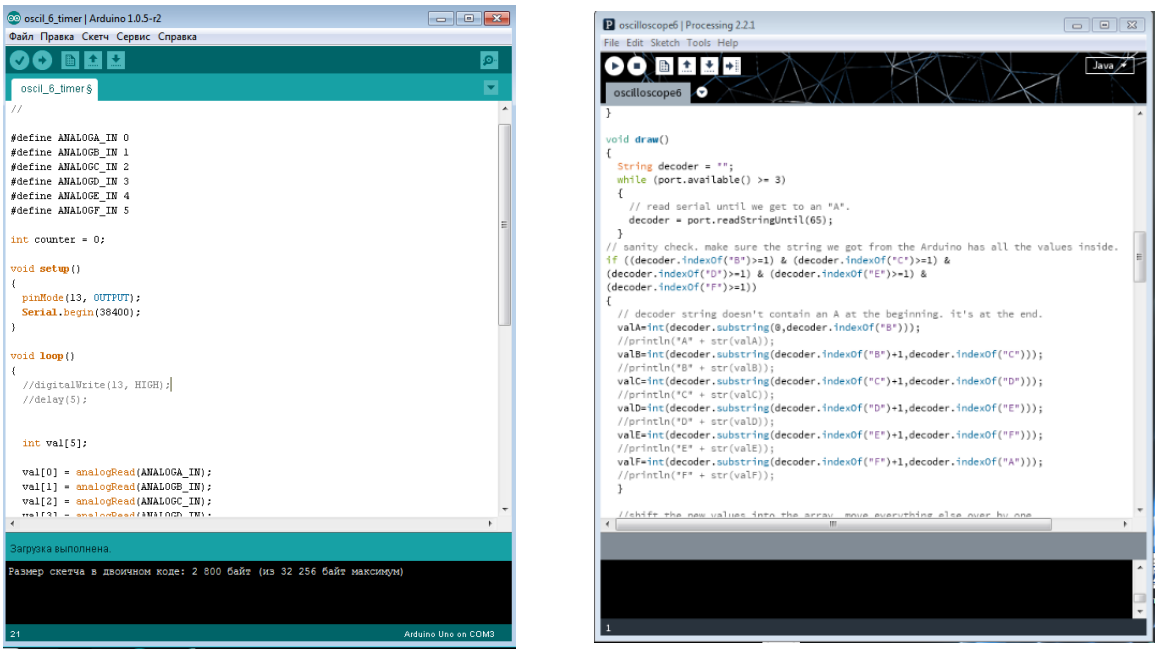


Рис. 4.16. Экранные копии среды разработки *Arduino IDE* и *Processing*

Перед разработкой виртуальной части осциллографа были определены некоторые необходимые параметры.

Интервал времени опроса

$$\Delta t \le \frac{1}{2\pi f_{\max}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2} \approx 0{,}08c, \qquad (4.11)$$

где f_{mfx} = 2Гц – максимальная предполагаемая частота колебаний исследуемого сигнала.

Продолжительность регистрации экспериментальных данных

$$T_0 \ge \frac{10}{f_{\min f}} = \frac{10}{1} = 10c, \qquad (4.12)$$

f_{min} = 1Гц.

Скорость виртуальной протяжки осциллограммы (заполнения экранной формы) примем $V_{пр}$ = 20 мм/с, тогда минимальная длина виртуального экрана осциллографа

$$L = V_{np}T_0 = 20 \cdot 10 = 200 \text{ мм}. \qquad (4.14)$$

На основании результатов обработки осциллограммы тарировки датчика угла наклона (рис. 4.17) построен его тарировочный график, являющийся характеристикой датчика (рис. 4.18).

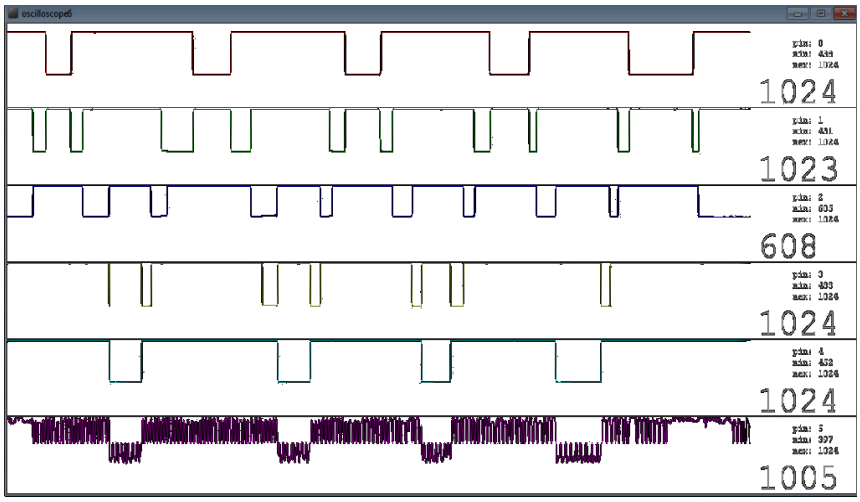


Рис. 4.17. Осциллограмма тарировки датчика угла наклона

Закрашенная область между двумя тарировочными кривыми по сути есть область нечувствительности датчика.

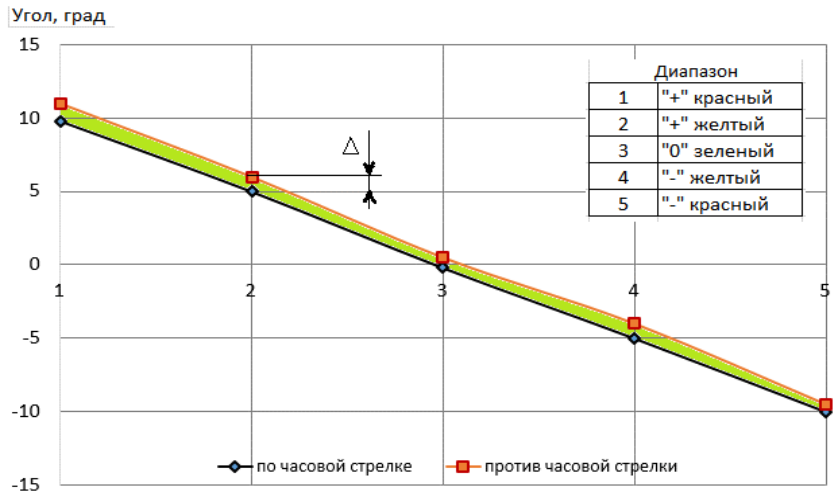


Рис. 4.18. Тарировочный график датчика угла положения

Зона нечувствительности в среднем составляет Δ = 0,9º или 0,016 рад, что при принятом максимальном угле отклонения датчика в 15º (разд. 2.4) составляет

$$\frac{0{,}9 \cdot 100}{15} = 6\ \%.$$

Экспериментальная оценка запаздывания реакции оператора на сигналы информационной панели при изменении угла наклона агрегата при движении проводилась на основе анализа осциллограммы, представленной на рис. 4.19. Результаты экспериментов показывают, что время запаздывания реакции оператора составляет 0,15-0,35 с.

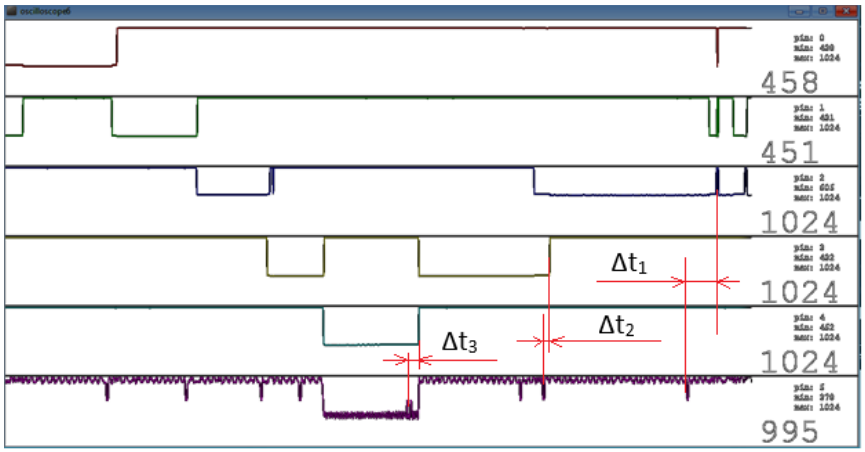


Рис. 4.19. Осциллограмма исследования реакции запаздывания оператора

В ходе экспериментального исследования были получены осциллографические записи основных характерных

динамических режимов при движении погрузчика по неровностям (рис. 4.20). По полученным экспериментальным данным коэффициент динамичности при инерционном возбуждении на датчик составляет 1,5-1,8, что находится в пределах теоретически определенного интервала 1,2-2,0.

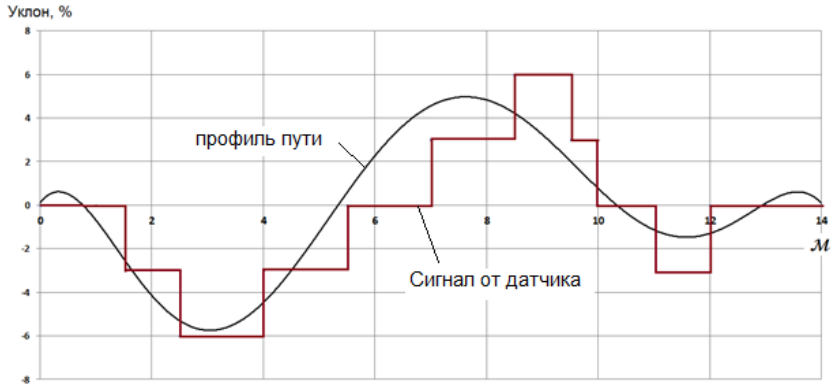


Рис. 4.20. Динамика реагирования датчика при движении погрузчика по неровностям

Устойчивость датчика угла наклона к вибрационным колебаниям оценивалась на основе экспериментальных данных (рис. 4.21). Затухание колебаний маятника датчика при вибрационном возбуждении происходит за 0,25-0,45 с, при этом отклонение от теоретических расчетов не превышает 8 %.

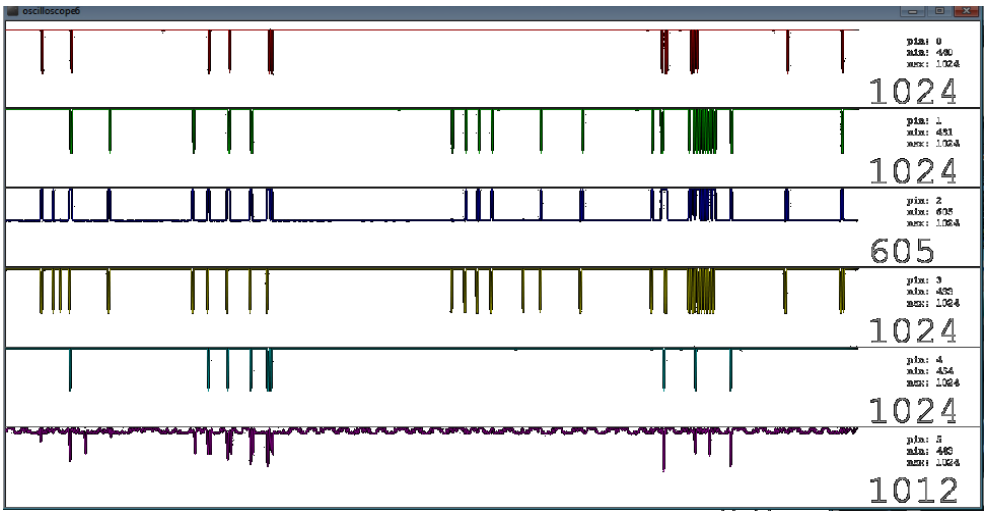


Рис. 4.21. Осциллограмма исследования процесса воздействия ударных нагрузок на датчик

4.4. Вариант применения элементов системы контроля положения погрузочного агрегата

Для повышения удобства контроля и управления вилочным захватом фронтального погрузчика с рабочего места оператора, исключение опрокидывания и соскальзывания груза с вилочного захвата при движении погрузчика на погрузочном манипуляторе может быть применено следующее устройство [86, 90].

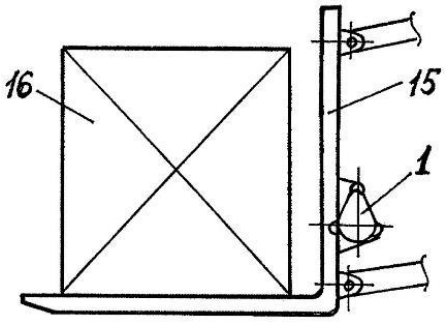


Рис. 4.22. Расположение датчика положения на захвате контейнера

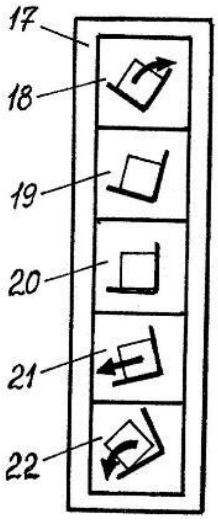


Рис. 4.23. Информационная панель системы контроля положения контейнера

Датчик положения 1 (рис. 4.22) крепится к вилочному захвату 15, на котором расположен контейнер 16.

Визуализация угла наклона груза на вилочном захвате относительно горизонтали осуществляется посредством информационной панели 17 (рис. 4.23), размещенной в кабине оператора. Панель имеет 5 светофильтров: красный 18, оранжевый 19, зеленый 20, оранжевый 21 и красный 22, имеющие изображения соответствующего угла наклона вилочного захвата.

Работа устройства осуществляется следующим образом. Когда вилочный захват 15 с контейнером 16 находятся в горизонталь-

ном положении, датчик положений 1 находится строго в вертикальном положении. Маятник 5 (см. рис. 4.1) датчика с постоянным магнитом 6 находятся строго вертикально и симметрично относительно корпуса датчика 1. Магнит 6 находится напротив геркона *S*3, который под действием магнитного поля замыкается, вследствие чего электрический ток от бортовой сети погрузочного агрегата через стабилизатор, геркон *S*3, токоограничивающий резистор *R*3 протекает через светодиод *VD*3 зеленого цвета (см. рис. 4.4 а). На информационной панели светится светофильтр 20 (см. рис. 4.23), показывающий, что контейнер находится в нейтральном положении.

При наклоне вилочного захвата 15 влево на определенный угол контейнер 16 также наклоняется на тот же угол, вместе с вилочным захватом 15 наклоняется и датчик положений 1. При наклоне корпуса датчика влево от вертикали маятник 5 с постоянным магнитом 6 стараются вернуться в вертикальное положение под действием силы тяжести, и тогда магнит 6 останавливается напротив геркона *S*4, который замыкаясь под действием магнитного поля пропускает ток от стабилизатора через токоограничивающий резистор *R*4 к светодиоду *VD*4, начинает светиться оранжевым цветом светофильтр 21, информирующий оператора о том, что груз наклонен и требуется его выравнивание посредством системы управления наклоном вилочного захвата (см. рис. 4.4а).

При большом угле наклона вилочного захвата 15 влево маятник 5 займет крайнее левое положение в корпусе 1, магнит 6 установится напротив геркона *S*5, ток пройдет

через токоограничивающий резистор *R*5 и светодиод *VD*5. Засветится красным цветом светофильтр 22 (рис. 4.23), информируя оператора о критическом наклоне вилочного захвата и принятии решений о незамедлительном выравнивании груза относительно горизонтали.

При наклоне вилочного захвата в противоположную сторону работа системы происходит аналогично, светятся светофильтры 18 или 19 (см. рис. 4.23).

В случае, когда магнит 6 занимает положение между герконами, например, *S*3 и *S*4, то светятся светодиоды *VD*3 и *VD*4 и соответственно светофильтры 20 и 21. Такие промежуточные положения магнит 6 может занимать при движении погрузчика с контейнером по пересеченной поверхности, тем самым вызывая колебания маятника 5. В этом случае мигание различных светофильтров может дезинформировать оператора о реальном положении груза, с целью успокоения колебаний маятника 5 в корпусе 1 датчика положений находится демпфирующая жидкость 10.

Таким образом, бортовая информационная система обеспечения безопасности работы мобильного погрузочного агрегата представляющая из себя часть интегрированной системы повышения эксплуатационной технологичности, может применяться как самостоятельный прибор визуального отображения информации об устойчивости погрузочного агрегата с возможностью расширения его функций. Предлагаемое оборудование не требует конструктивного изменения погрузочного агрегата и его отдельных узлов, имеет оригинальное и простое конструктивное решение с использованием недорогих и доступных

элементов и материалов. В результате чего, конечный продукт имеет низкую себестоимость, низкое энергопотребление, простоту в обслуживании и эксплуатации.

Разработанное стендовое оборудование позволяет проводить исследования датчиков угла наклона погрузочного агрегата, имитировать различные режимы работы. Достоверность полученных результатов обеспечивается достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных данных.

Проведенное исследование динамической модели датчика положения погрузочного агрегата проверено на лабораторном стенде погрузочного агрегата и на полномасштабном стенде погрузочного манипулятора НПМ-0,5 на базе самоходного шасси Т-16М показало, что расхождение теоретических и экспериментальных данных не превышает 7,8 %.

Погрешность времени индикации сигналов подсистемы оценки устойчивости погрузочного агрегата составляет 0,2-0,3 с., что на 40-60 % меньше времени реакции человека-оператора.

5. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ СИСТЕМЫ, ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

5.1. Оценка надежности разработанной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и контроля устойчивости погрузочного агрегата

Оценка надежности программно-аппаратных средств, в т. ч. и контроля параметров работы машин, предусмотрена требованиями государственных и международных стандартов и руководящими документами в области промышленной безопасности (см. разд. 1.2).

Безотказная работа информационной системы контроля работы мобильного погрузочного агрегата заключается в одновременной работоспособности входящих в нее подсистем, которые с точки зрения надежности являются независимыми. Надежность одной подсистемы не влияет на надежность другой подсистемы или элемента, однако влияет на эффективность информационной системы контроля в целом. Независимость подсистем обеспечивается модульностью построения всей системы, что не только повышает надежность, но и возможность модернизации отдельной подсистемы. Так как значительную часть модулей информационной системы контроля работы мобильного погрузчика составляют электронные компонен-

ты, то известно [39], что для таких устройств наработка на отказ имеет экспоненциальный закон распределения, для механической части модулей подсистем характерен нормальный закон распределения наработки на отказ. [17, 39, 62, 66, 73, 91].

Вероятность того что отдельная подсистема является работоспособной в данный момент времени и будет находиться в таком состоянии требуемое время работы агрегата зависит от коэффициента готовности

$$k_i = \frac{T_0}{T_0 + T_B}. \qquad (5.1)$$

где T_0 – средняя наработка оборудования; T_B – среднее время восстановления работоспособности.

Тогда вероятность работоспособности всей системы

$$P_C(T) = P_i(t_i) \cdot P_{i+1}(t_{i+1}) \cdot \ldots P_n(t_n), \qquad (5.2)$$

или

$$P_C(T) = \prod_{i=1}^{N} k_i P_i(t_i). \qquad (5.3)$$

где $T = \prod_{i=1}^{N} t_i$ – планируемое время работы погрузочного агрегата; N – число подсистем СА; $P_i(t_i)$ – вероятность работоспособности i –ой подсистемы.

Имея в своем составе три подсистемы с вероятностями работоспособности p_1 = 0,99, p_2 = 0,98, p_3 = 0,96 получим p = 0,93 (рис. 5.1).

Проведем оценку вероятностных состояний разработанной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и обеспечения безопасности работы погрузочного агрегата при следующих исходных данных:

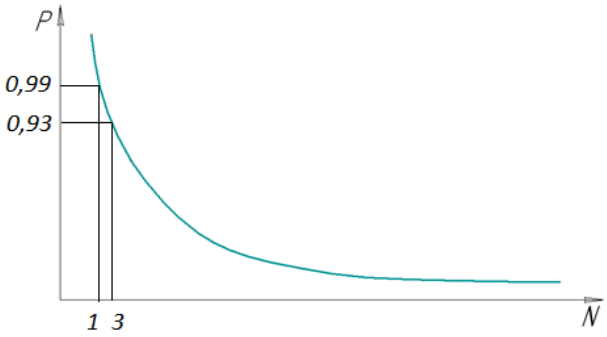


Рис. 5.1. Зависимость вероятности работоспособности системы приборного контроля от числа подсистем

S_1 – система исправна;

S_2 – система работает со сбоями;

S_3 – система не работает, неисправность неизвестна;

S_4 – система ремонтируется, ведется поиск неисправностей;

S_5 – система не используется, идет снятие показаний после смены;

S_6 – профилактическое обслуживание.

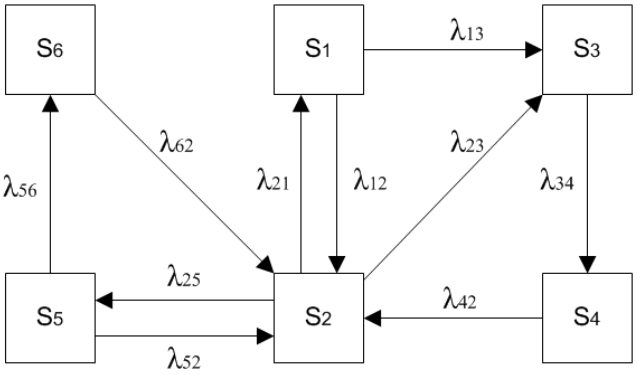


Рис. 5.2. Граф состояний системы

В соответствие с графом (рис. 5.2) и мнемоническим правилом составления уравнений Колмогорова составлена система дифференциальных уравнений для вероятностных состояний [50].

$$
\begin{aligned}
&p_1'(t) = \lambda_{21} \cdot p_2(t) - (\lambda_{12} + \lambda_{13}) \cdot p_1(t) \\
&p_2'(t) = \lambda_{62} \cdot p_6(t) + \lambda_{52} \cdot p_5(t) + \lambda_{12} \cdot p_1(t) + \lambda_{42} \cdot p_4(t) - (\lambda_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{25}) \cdot p_2(t) \\
&p_3'(t) = \lambda_{13} \cdot p_1(t) + \lambda_{23} \cdot p_2(t) - \lambda_{34} \cdot p_3(t) \\
&p_4'(t) = \lambda_{34} \cdot p_3(t) - \lambda_{42} \cdot p_4(t) \\
&p_5'(t) = \lambda_{25} \cdot p_2(t) - (\lambda_{52} + \lambda_{56}) \cdot p_5(t)
\end{aligned}
\qquad (5.4)
$$

$$p_6'(t) = \lambda_{56} \cdot p_5(t) - \lambda_{62} \cdot p_6(t)$$

Начальные условия:

$p_1'(0) = 1$ – в начальный момент времени система исправна, $p_i'(0) = 0$, $i = 2, 3\ldots6$;

$\lambda_{13} = \lambda_{23} = 1/30$ – среднее время наработки на отказ равно 30 сут;

$\lambda_{12} = 3$ – среднее время работы системы в смену без сбоев (8 ч);

$\lambda_{21} = 1$ – среднее время простоя исправной системы (время простоя агрегата), равное 15 ч;

$\lambda_{34} = 48$ – среднее время поиска неисправности (0,5 ч);

$\lambda_{42} = 24$ – среднее время устранения неисправности (1 ч);

$\lambda_{52} = \lambda_{25} = 48$ – среднее время снятия показаний за смену (0,5 ч);

$\lambda_{56} = \lambda_{62} = 1/30$ – время профилактического обслуживания (1 раз в 30 сут).

$\lambda 13 := \frac{1}{30}$ $\quad \lambda 23 := \frac{1}{30}$ $\quad \lambda 12 := 2$ $\quad \lambda 21 := 1$ $\quad \lambda 34 := 48$

$\lambda 42 := 24$ $\quad \lambda 52 := 48$ $\quad \lambda 25 := 48$ $\quad \lambda 56 := \frac{1}{30}$ $\quad \lambda 62 := \frac{1}{30}$

Given

$0 = \lambda 21 \cdot p2 - (\lambda 12 + \lambda 13) \cdot p1$

$0 = \lambda 62 \cdot p6 + \lambda 52 \cdot p5 + \lambda 12 \cdot p1 + \lambda 42 \cdot p4 - (\lambda 21 + \lambda 23 + \lambda 25)\, p2$

$0 = \lambda 13 \cdot p1 + \lambda 23 \cdot p2 - \lambda 34 \cdot p3$

$0 = \lambda 34 \cdot p3 - \lambda 42 \cdot p4$

$0 = \lambda 25 \cdot p2 - (\lambda 52 + \lambda 56) \cdot p5$

$0 = \lambda 56 \cdot p5 - \lambda 62 \cdot p6$

$$\mathrm{Find}(p1, p2, p3, p4, p5, p6) \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{20750400}{147400411} \\ \frac{42192480}{147400411} \\ \frac{131131}{442201233} \\ \frac{262262}{442201233} \\ \frac{42163200}{147400411} \\ \frac{42163200}{147400411} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.141 \\ 0.286 \\ 2.965 \times 10^{-4} \\ 5.931 \times 10^{-4} \\ 0.286 \\ 0.286 \end{pmatrix}$$

$$t1 := \frac{1 \cdot 24}{(\lambda 12 + \lambda 13)} = 11.803$$

Рис. 5.3. Определение предельных вероятностей в *Mahtcad*

В результате решения однородной системы в Mathcad для изображений получены предельные вероятности (рис. 5.3).

Математическое ожидание времени t_1, в течение которого система однозначно исправ-

на и работоспособна равно 11,8 ч, т. е. больше одной смены.

Математическое ожидание времени, в течение которого система может находиться в неисправном состоянии, либо на техническом обслуживании

$$\bar{\theta}_1 = \frac{\bar{t}_1(1-p_i)}{p_i} = \frac{11,8(1-0,94)}{0,94} = 0,75 \textit{часа}.$$

Следует отметить, что надежность современных электронных систем довольно велика, основными причинами неисправностей, как правило, являются нарушение контакта в разъемных соединениях.

Рост сложности технических систем управления вызывает повышение требований к человеку-оператору, так как в эргатических системах человек все более становится компонентом ненадежности. Поэтому особое место в динамической модели системы управления занимает математическое описание оператора.

В эргатической системе управления человек-оператор выполняет функции регулирования управляемого объекта с учетом внешних изменяющихся воздействий на объект. При этом в человеко-машинной системе оператор является наиболее "слабым" звеном, от 20 до 80 % аварий и аварийных ситуаций на производстве случается из-за ошибок оператора, количество таких ситуаций зависит еще и от степени автоматизации производства [91].

Динамическую модель человека-оператора можно представить в виде передаточной функции

$$W(p)_{чо} = \frac{e^{-T_{РВ}p} K_{ОП}(T_1 p+1)}{(T_2 p+1)(T_3 p+1)}, \qquad (5.5)$$

где $T_{РВ}$ – продолжительность реакции выбора, p – опера-

тор Лапласа, $K_{ОП}$ – коэффициент усиления, T_1 – постоянная времени упреждения, показывающая способность человека на 2-3 с упреждать направление и отклонение перемещения груза по заданной траектории, T_2 = 0,001-1 с и T_3 = 0,1-0,3 с – соответственно время задержки в нервной и мускульной системах оператора.

Пропускная способность человека-оператора $C_{ЧО}$ – это верхняя граница потока (скорости) информации, которую он может воспринять

$$C_{ЧО}(t) = \sup\left\{\dot{I}(X,Y)\right\}, \tag{5.6}$$

где $\dot{I}(X,Y)$ – поток информации, содержащейся в воспринимаемом сигнале X о посланном сигнале Y, с другой стороны это есть скорость информации, поступающей к человеку-оператору за время T

$$\dot{I}(X,Y) = \lim_{T\to\infty}\frac{I(X,Y)}{T}. \tag{5.7}$$

Общего решения проблемы определения количества информации, которое можно предъявить оператору как такового не существует. Максимальная пропускная способность зрительной системы человека-оператора находится в пределах $50\cdot10^6$-$600\cdot10^6$ бит/с. Если скорость поступления входной информации превосходит возможности оператора, он допускает различного рода ошибки: пропуски сигналов, искажение сигналов (ошибочное опознавание, неадекватная реакция), задержки в передаче сигналов – фильтрацию потока информации, отказ от решения задачи управления.

Продолжительность реакции выбора T_{PB} оператора

связана с числом воспринимаемых альтернативных сигналов n_C логарифмической зависимостью по закону Хика:

$$T_{РВ} = l_{ОП} \log(n_C + 1) \tag{5.8}$$

где $l_{ОП}$ – константа оператора, отображающая индивидуальные особенности и степень утомленности (от 0,5-0,65).

Вероятность безошибочной работы человека оператора определяется выражением [91]:

$$P_{ОП} = P_{1ОП} \cdot P_{2ОП} \cdot P_{3ОП} = 0{,}88, \tag{5.9}$$

где $P_{1ОП} = 0{,}97$ – вероятность безошибочной работы оператора на этапе восприятия информации; $P_{2ОП} = 0{,}95$ – на этапе принятия решения; $P_{3ОП} = 0{,}96$ – на этапе реализации принятого решения.

Эффективным средством для существенного повышения производительности манипулятора является оснащение автоматизированными системами управления, которые позволяют выполнять повторяющиеся однообразные рабочие операции без участия оператора (например, автоматический возврат грузозахватного устройства манипулятора в заданное положение по окончании технологической операции), облегчить сам процесс управления и как результат – уменьшение утомляемости оператора.

При разработке эргатических систем управления следует учитывать объем и скорость потока информации, выдаваемой человеку-оператору: "К сожалению, с повышением сложности разрабатываемых систем и включением в них оператора как основного звена, результат проектирования становится все более неопределенным в силу увеличения числа возможных, близких по эффективности, вариантов реализации" [17].

5.2. Производственные испытания

Программно-аппаратный комплекс мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата внедрен в производственный процесс КФХ А. Н. Телитченко путем использования в течение двух месяцев 2017 г. на погрузочно-разгрузочных работах при заготовке рулонов с сеном и в течение трех месяцев эксплуатировался с погрузочно-тракторным агрегатом на базе МТЗ-82 + ПКУ-0,8 и в ООО "Русь" Городищенского р-на Волгоградской обл. агрегатом МТЗ-82 + ПФ-С-0,5 (рис. 5.4).

Рис. 5.4. Работа агрегата в поле

Во всех случаях прибор контроля устанавливался в кабину трактора (рис. 5.5), по окончании смены данные с него переносились на стационарный компьютер и по разработанному программному обеспечению рассчитывались фактические эксплуатационные показатели. На основе анализа полученных данных принимались решения по снижению затрат труда и повышению производительности погрузочного агрегата, в частности, уменьшение времени простоя, уменьшение холостых переездов, замена транспортных прицепов для перевозки рулонов и даже замена тракториста на более опытного.

Для определения фактической производительности

Рис. 5.5. Место установки прибора регистрации и вычисления эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата

$П_ф$ погрузочного агрегата введены поправочные коэффициенты, определенные на основании данных опытной эксплуатации [34, 61]

$$П_ф = Пэ \cdot k_1 \cdot k_2, \qquad (5.10)$$

где k_1·– коэффициент квалификации тракториста (1,0 – высокая, 0,8 – средняя, 0,6 низкая опытность), k_2 – коэффициент использования рабочего времени (0,83 – при 50 мин/ч; 0,67 – при 40 мин/ч).

В результате при первоначальных условиях производительность погрузочного агрегата составляла

$$П_ф = Пэ \cdot k_1 \cdot k_2 = 1{,}84 \cdot 0{,}8\ 0{,}67 = 1{,}22 \text{ т/ч}. \qquad (5.11).$$

По результатам коррекционных действий удалось повысить фактическую эксплуатационную производительность

$$П_ф = Пэ \cdot k_1 \cdot k_2 = 1{,}84 \cdot 1\ 0{,}83 = 1{,}53 \text{ т/ч}. \qquad (5.12).$$

Производственная проверка программно-аппаратного комплекса мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата показала его работоспособность, надежность и эффективность применения при погрузке штучных грузов. Использование разработанной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузчика дало возможность хозяйству выявить резервы повышения производительности по-

грузочно-разгрузочных работ, скорректировать технологический процесс и получить экономический эффект в КФХ А. Н. Телитченко за 2 месяца эксплуатации 5400 руб., а в ООО "Русь" 8100 руб. за три месяца эксплуатации.

По окончании производственных испытаний производственниками были даны рекомендации к использованию разработанной системы мониторинга на мобильных тракторных погрузчиках для работы со штучными грузами. Дальнейшим совершенствованием системы видится разработка диалогового интерфейса, встроенного непосредственно в прибор, размещаемый в кабине оператора с расчетом и выдачей текущих эксплуатационных показателей на рабочем месте оператора, т. е. полноценный бортовой тракторный компьютер.

5.3. Технико-экономическое обоснование

Анализ времени рабочего цикла погрузки рулонов сена показывает, что основное время затрачивается на холостой переезд погрузчика к грузу и позиционирование грузозахватного устройства, что в среднем составляет 22-35 % от общего времени цикла.

Использование систем приборного контроля на погрузочных агрегатах обуславливает повышение производительности на 12-15 % при снижении расхода топлива на 12-18 % на 1 т погруженного груза [61, 105].

Ожидаемая экономическая эффективность достигается за счет внедрения мер по увеличению эксплуатационной производительности определялась по известным

апробированным методикам [12, 34, 52, 53]. Основные технико-экономические показатели сведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Технико-экономические показатели

Экономический показатель	Обозначение	Базовое оснащение	С системой мониторинга эксплуатационно-технологических параметров
Балансовая стоимость, руб	С	142000	157000
Производительность за час чистого времени, т/ч	П	1,22	1,53
Годовой объем работ, т	В	80	80
Приведенные затраты, руб/т	$П_{ПР}$	153800	146700
Эксплуатационные затраты, руб.	$З_Э$	91000	58500
Снижение приведенных затрат, %		-	35,7
Годовая экономия приведенных затрат, руб.	$Э_Т$	-	32500
Срок окупаемости, лет	Т	-	1,8

Следует отметить, что экономический эффект от внедрения предложенной комплексной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и контроля устойчивости погрузочного агрегата может быть получен и за счет снижения аварийных ситуаций, несчастных случаев и улучшения условий труда трактористов.

Улучшение эргономических свойств погрузочных агрегатов направлено на повышение их эксплуатационных качеств. В табл. 5.2. представлены сравнительные данные предлагаемой системы с аналогами.

Проведена оценка надежности разработанной системы мониторинга эксплуатационных параметров работы и контроля устойчивости погрузочного агрегата, которая составляет 0,93.

Проведена оценка вероятностных состояний разработанной системы мониторинга эксплуатационно-техноло-

Таблица 5.2

Сравнение системы контроля устойчивого положения погрузочного агрегата с аналогами в стране и за рубежом

Сравниваемые показатели (ед. измерения)	Наименования аналогов		Разработанная система контроля устойчивого положения	Отличительные признаки
	прибор безопасности ОНК-140 (160)	система контроля погрузчика Multifarmer 30.6 classic 2		
Установка на грузоподъемном средстве	Требуется время для монтажа и настройки	Встроенная	Быстросъемная	Возможность установки системы на различные типы погрузочных средств, и на различные агрегаты
Ресурс, лет	11-15	-	15-25	Простота доработки
Цена, руб	59000 (71000)	-	2000-2500	Простота конструкции, доступные и дешевые детали

гических параметров и обеспечения безопасности работы погрузочного агрегата. Надежность разработанной системы достаточна для обеспечения беспрерывной работы в течение смены, основными причинами неисправностей, может быть нарушение контакта в разъемных соединениях.

Производственные испытания комплексной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и системы контроля безопасной эксплуатации погрузочного агрегата на погрузочном агрегате МТЗ-80 + ПФ-С-0,5 при погрузке рулонов сена показали ее работоспособность и эффективность.

Использование предлагаемой системы позволит наряду со снижением аварийных ситуаций и улучшением условий труда получить годовой экономический эффект на один погрузочный агрегат в среднем 32500 руб. при сроке окупаемости капитальных вложений 1,8 года в ценах 2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа существующих конструкций и разработок обоснована структура комплексной системы оценки эксплуатационной эффективности мобильных погрузочных агрегатов, которая представляет собой модульную систему мониторинга эксплуатационно-технологических показателей работы и повышения безопасности эксплуатации погрузочного агрегата, выполненную с учетом требований эргатических систем (патенты РФ № 2455222, № 2457172 и № 140869).

Предложена методика и разработан алгоритм определения эксплуатационно-технологических показателей эффективности использования погрузочного агрегата на погрузочно-разгрузочных работах по косвенным параметрам. Погрешность измерений бортовой комплексной системы не превышает 2,78 %, ошибка вычисления производительности погрузочного агрегата по регистрируемым данным составляет 0,8 %.

Сформулированы подходы к определению устойчивости погрузочных манипуляторов с различным агрегатированием погрузчика и разработана математическая модель датчика положения погрузчика в вертикальной плоскости, учитывающая инерционные и резонансные нагрузки на погрузочный агрегат при его движении по неровностям. Решена задача выбора рациональных параметров

маятникового датчика положения погрузочного агрегата с учетом заданных показателей точности и внешнего инерционного воздействия. Проведенное исследование динамической модели датчика положения погрузочного агрегата проверено на лабораторном стенде погрузочного агрегата и на полномасштабном стенде погрузочного манипулятора НПМ-0,5 на базе самоходного шасси Т-16М показало, что расхождение теоретических и экспериментальных данных не превышает 7,8 %.

Проведена оценка надежности разработанной системы мониторинга эксплуатационных параметров работы и контроля устойчивости погрузочного агрегата, которая составляет 0,98. Погрешность времени индикации сигналов подсистемы оценки устойчивости погрузочного агрегата составляет 0,2-0,3 с, что на 40-60 % меньше времени реакции человека-оператора.

Производственные испытания комплексной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и системы контроля безопасной эксплуатации погрузочного агрегата на погрузочном агрегате МТЗ-80 + ПФ-С-0,5 при погрузке рулонов сена показали ее работоспособность и эффективность. Полученные значения коэффициентов эффективности использования погрузочного агрегата показывают, что есть существенный запас повышения производительности на 12-23 % путем более тщательного планирования технологических процессов погрузки-разгрузки грузов. Использование предлагаемой системы позволит наряду со снижением аварийных ситуаций и улучшением условий труда получить годовой эко-

номический эффект на один погрузочный агрегат в среднем 32500 руб. при сроке окупаемости капитальных вложений 1,8 года в ценах 2018 г.

При использовании комплексной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и контроля устойчивости на погрузочных агрегатах с навесными консольно-поворотными погрузчиками следует устанавливать датчики положения непосредственно на корпусе погрузчика, для фронтальных погрузчиков допустима установка датчиков на агрегатирующем шасси.

В перспективе планируется расширить функционал комплексной системы мониторинга путем увеличения числа регистрируемых эксплуатационно-технологических параметров и дополнить ее навигационной системой на базе ГЛОНАСС/GPS.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. № 248944 СССР, МПК В66с. Устройство для поворота и изменения вылета стрелы крана / В. М. Соболев, В. И. Пындак. Бюл. № 24 от 18.07.1969 г.

2. А. С. № 274318 СССР, МПК В 66с 23/06. Грузоподъемный кран / В. И. Пындак, П. П. Шевцов, В. Л. Строков, Ю. Ф. Тарасов. Бюл. № 21 от 24.06.1970 г.

3. А. С. № 334166 СССР, М. Кл. В 66с 23/82. Устройство для поворота и изменения вылета стрелы крана / В. И. Пындак, В. Л. Строков, А. А. Карсаков. Бюл. № 12 от 30.03.1972 г.

4. А. С. № 555046 СССР, М. Кл.^{2} В 66F 9/12. Навесное грузозахватное оборудование к погрузчику / В. М. Герасун, В. И. Пындак, В. Л. Строков. Бюл. № 15 от 25.04.77 г.

5. А. С. № 594021 СССР, М. Кл. В66С 23/44. Грузоподъемный кран / В. И. Пындак, В. Л. Строков, Л. Н. Худяков. Бюл. № 7 от 25.02.1978 г.

6. А. С. № 624873 СССР, М. Кл.^{2} В66С 13/42. Гидропривод для поворота и изменения вылета стрелы крана / В. М. Герасун, В. И. Пындак, В. Л. Строков. Бюл. № 35 от 25.09.78 г.

7. А. С. № 988753 СССР, М. Кл.^{3} В66С 23/82. Устройство для поворота и изменения вылета стрелы крана / В. М. Герасун, В. И. Пындак, А. Ф. Рогачёв, В. Л. Строков. Бюл. № 2 от 15.01.83 г.

8. А. С. № 1025541 СССР, МКИ^3 В60Р 1/50. Погрузочно-разгрузочное устройство транспортного средства / В. М. Герасун, В. И. Пындак, А. Ф. Рогачёв, В. Л. Строков. – Опубл. 1983. Бюл. № 24. – 3 с.

9. А. С. № 1224195 СССР, 4 В60Р 1/54. Самопогружающееся транспортное средство / В. М. Герасун, А. Н. Лысенко, А. Ф. Рогачёв, С. Д. Сметнев, В. Л. Строков. Бюл. № 14 от 15.04.86 г.

10. А. С. № 1298186 СССР, 4 В 66 F 9/12. Навесное грузозахватное оборудование к погрузчику / В. Л. Строков, А. И. Удовкин. Бюл. № 11 от 23.03.87 г.

11. Алехин А. Диагностический прибор – маршрутный компьютер // Радио. – 2002. – № 1. – С. 33-36.

12. Алмазов И. В. Повышение эффективности машин при транспортировке сена в рулонах: автореф. дис. ... к. т. н. – Волгоград, 2016. – 20 с.

13. Базанов А. Ф., Забегалов З. В. Самоходные погрузчики. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 146 с.

14. Бойко В. В., Момот Н. С. Особенности аттестации рабочих мест в транспортно-складском хозяйстве // Промышленный транспорт. – 1986. – № 11. – С. 31-33.

15. Борисов А. М., Фатеев М. Н., Гохтель А. Х. Сельскохозяйственные погрузочно-разгрузочные машины. – М.: Машиностроение, 1973. – 160 с.

16. Боровский Э. С. Что такое безопасный электропогрузчик? // Подъемно-транспортная техника и склады. – 1990. – № 4. – С. 52-53.

17. Бронников А. М., Сельвесюк Н. И. Итерационный алгоритм обнаружения отказов бортового комплекса на основе смешанных направленных графов // Мехатроника, автоматизация, управление: материалы 7-й науч.-техн. конф. – СПб.: ОАО "Концерн ЦНИИ "Электроприбор", 2010. – С. 95-98.

18. Бронникова Т. П., Горностаев В. А., Давидович М. Б. Построение управления с микропроцессорной системой // Строительные и дорожные машины. – 1998. – № 6. – С. 8-9.

19. Бурьяков А. И., Дмитриенко А. И. Тракторные контейнерные перевозки грузов на молочных фермах // Техника и оборудование для села. – 1999. – № 3-4. – С. 13-16.

20. Валковицкий А. К., Кармаков Е. В., Павлов Б. В. Эргатическая система управления проводкой летательного аппарата / А.К. Валковицкий, // Материалы 4-й Всероссийской мультиконференции по проблемам управления. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2011. – Т. 2. – С. 36-38.

21. Варфоломеев В. П. Повышение безопасности эксплуатации строительного оборудования на колесном ходу // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 6. – С. 1-5.

22. Возможности повышения эффективности уборочно-транспортного процесса плодоовощной продукции / И. А. Успенский [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 110. – С. 1313-1328.

23. Войнаш А. С., Войнаш С. А. Проектирование механизма контейнерной самозагрузки автотрактора // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 32-34.

24. Гамаюнов П. П., Алексеев С. А. Повышение устойчивости автотракторного поезда на базе тракторов МТЗ "Беларусь" ("Беларус") // Научное обозрение. – 2014. – № 12-1. – С. 422-424.

25. Гамаюнов П. П., Алексеев С. А. Повышение эксплуатационных качеств тракторного поезда за счет улучшения его эргономических свойств // Научное обозрение. – 2015. – № 24. – С. 111-113.

26. Гельфенбейн С. П. Терранавиция. – М.: Колос, 1981. – 207 с.

27. Гельфенбейн С. П., Свирщевский А. Б. Контроль качества сельскохозяйственной техники, технологических процессов и продукции // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1982. – № 11. – С. 22-24.

28. Герасун В. М. Сельскохозяйственные грузы как основа создания навесных грузоподъемных машин // Создание и использование мобильной энергетики для механизации погрузочно-разгрузочных работ в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. – Волгоград: СХИ, 1984. – Т. 85. – С. 15-25.

29. Герасун В. М., Несмиянов И. А. Системы управления манипуляторами на основе пространственных исполнительных механизмов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 2. –С. 24-28.

30. Герасун В. М., Несмиянов И. А., Фомин С. Д. Исследование устойчивости транспортного агрегата с манипулятором // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2013. – № 1(29). – С. 204-211.

31. Голдобина Л. А. Совершенствование условий и охраны труда в сельскохозяйственном строительстве за счет разработки и внедрения инженерно-технических методов и средств, обеспечивающих устойчивость системы "оператор – строительная машина – среда": автореф дис. …д. т. н. – Санкт-Петербург – Пушкин, 2003. – 42 с.

32. Грифф М. И., Затван Р. А., Трофименков В. Ф. Транспортные средства с грузоподъемными устройствами для перевозки грузов в контейнерах и пакетах. – М.: Транспорт, 1989 – 159 с.

33. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов / М. П. Александров [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986 – 400 с.

34. Гусев С. А. Расчет производительности тракторного агрегата // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 1. – С. 6-11.

35. Гуськов Ю. А. Экономическая оценка эффективности перевозки рулонов сена // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 11. – С. 6-7.

36. Гячев Л. В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов. – М.: Машиностроение, 1981. – 206 с.

37. Джефф Вильямс. Программируемые роботы. – М.: NT Press., 2006. – 236 с.

38. Дубинин В. Ф. (ред.). Подъемно-транспортные машины в сельском хозяйстве. Атлас конструкций: Учеб. пособие для факультетов механизации сельскохозяйственных вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 124 с.

39. Егоров П. Е. Построение функции надежности автоматизированных технологических систем // Технология машиностроения. – 2007. – № 12. – С. 64-66.

40. Жавнер В. Л., Крамской Э. И. Погрузочные манипуляторы / Под ред. А. И. Колчина. – Л.: Машиностроение (Ленинградское отд.), 1975. – 160 с.

41. Ильин М. М., Колесников К. С., Саратов Ю. С. Теория колебаний: учеб. для вузов; под общ. ред. К. С. Колесникова. – 2-е изд., стереотип. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 272 с. (Сер. Механика в техническом университете. – Т. 4).

42. Индустрия строительства: Сер. "Техника". Вып. 1. – М.: Знание, 1986. – № 8. – 64 с.

43. Иофинов С. А. Эксплуатационная характеристика и классификация тракторов как мобильных систем с последействием // Повышение производительности и эффективности использования машинно-тракторного парка и автотранспорта. Посвящяется 80-летию факультета механизации и технического сервиса АПК: сб. науч. тр.; Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, кафедра эксплуатации тракторов, автомобилей и машин сельскохозяйственного назначения. – СПб, 2002. – С. 105-107.

44. Иоффе А. С. Анализ показателей устойчивости одноковшового гидравлического экскаватора // Строительные и дорожные машины. – 1990. – № 4. – С. 4-5.

45. Кононыхин Б. Д. Современные проблемы управления строительными и дорожными машинами. // Строительные и дорожные машины. – 1992. – № 5. – 17-20.

46. Контейнерно-транспортные системы в агропромышленном комплексе. Учебник для вузов / Г. М. Третьяков [и др.]; под ред. А. А. Артюшина. – М.: Колос – Пресс, 2002. – 224 с.

47. Контролирует тахограф. Промышленный транспорт. – 1986. – № 9.

– С. 16-18.

48. Коптев В. В., Богомягких В. А., Трифонова М. Ф. Основы научных исследований и патентоведения. – М.: Колос, 1993. – 144 с.

49. Корниенко В. С. Решение дифференциальных, интегральных и интегро-дифференциальных уравнений и систем операционным методом в Mathcad / Сост. В. С. Корниенко; Волгогр. гос. с.-х. акад. – Волгоград, 2002. – 28 с.

50. Кошелева А. А., Тагиева Н. К. Шарнирно-сочлененные фронтальные погрузчики: анализ российского рынка на период 2005-2013 гг. // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2016. – № 1(7). – С. 1-18.

51. Красников С. В., Михайлов Б. Б. Адаптивная система управления мобильным роботом на основе компенсирования информации с бортовых датчиков различной модальности // Экстремальная робототехника. Нано-микро-и макророботы (ЭР-2009): материалы XX Международ. науч.-техн. конф. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 213-215.

52. Кузин Э. Н., Баловнев В. И., Моисеев Г. Д. Эффективность машин и манипуляторов с учетом условий эксплуатации // Строительные и дорожные машины. – 1987. – № 10. – С. 15-16.

53. Кузин Э. Н., Баловнев В. И., Моисеев Г. Д. Эффективность машин и манипуляторов с учетом условий эксплуатации // Строительные и дорожные машины. – 1987. – № 12. – С. 10-12.

54. Кузнецов Н. Г., Потапов А. В., Гапич Д. С. Теоретическая механика (лекционный курс): учебное пособие. – Волгоград: ИПК Волгоградской ГСХА "Нива", 2009. – 276 с.

55. Кутьков Г. М., Кузьмичёв В. В. Методика оценки технологической универсальности мобильных энергосредств // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 3. – С. 18-22.

56. Лачуга Ю. Ф., Бородин И. Ф., Хорошенков В. К. Развитие процессов автоматизации производства сельскохозяйственной продукции на современном этапе // Техника и оборудование для села. – 2005. – № 2. – С. 2-6.

57. Ловейкін В. С., Міщук Д. О. Огляд основних конструкцій гідравлічного приводу кранів – маніпуляторів на транспортних засобах // Гірничі та піднімально-транспортні машини. – 2009. – № 74. – С. 20-27.

58. Макаров Е. Т. Инженерные расчеты в Mathcad. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2005. – 448 с.

59. Малафеев С. И. Мехатронные комплексы карьерных экскаваторов // Материалы 4-й Всерос. мультиконф. по проблемам управления. – Та-

ганрог: ТТИ ЮФУ, 2011. – Т. 2. – С. 336-339.

60. Маргайлик Б. Г. Зарубежные малогабаритные погрузчики и экскаваторы // Строительные и дорожные машины. – 1998. – № 2. – С. 7-13.

61. Маркарян С. Е., Акопян О. Т., Айрапетян Д. Т. Исследование и пути усовершенствования процесса погрузки и перевозки сена с горных природных сенокосов // Приволжский научный вестник. – 2015. – № 2(42). – С. 24-27.

62. Матвеевский В. Р. Надежность технических систем: учеб. пособие / Московский государственный институт электроники и математики. – М., 2002. – 113 с.

63. Медведев М. С. Совершенствование технологического процесса погрузки крупногабаритных тюков сенажа разработкой обжимающего грузозахватного устройства: автореф. дис. …к. т. н. – Саратов, 2012. – 22 с.

64. Мезин В. Г. Амкодор 211 – новая модель погрузчика // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 8. – С. 1-3.

65. Мержи И. Практическое руководство по логическим микросхемам и цифровой схемотехнике / Пер. с англ. Ю. Соколов – М.: НТ Пресс, 2007. – 256 с.

66. Мищенко В. И. Определение периодичности проверок сложных технических систем при ограниченной информации об их надежности // Метрология. – 1999. – № 12. – С. 23-25.

67. Модернизированные колесные мини погрузчики корпорации Komatsu America (по материалам зарубежной информации) // Строительные и дорожные машины. – 2011. – № 3. – С. 1-3.

68. Насер А. Разработка метода определения нагруженности и положения рабочего органа манипулятора тяжелого мобильного робота: автореф. дис. …к. т. н. – М., 2007.

69. Небылов А. В. Гарантирование точности управления. – М.: Наука. Физмат-лит., 1998. – 304 с.

70. Николаев В. А. Транспортное средство для перевозки рулонов // Сельский механизатор. – 2010. – № 2. – С. 6, 23.

71. Новиков Ю. В., Калашников О. А., Гуляев С. Э. Разработка устройств сопряжения для персонального компьютера типа IBM PC: практ. пособие. – М.: ЭКОМ, 2000. – 224 с.

72. Обеспечение безопасности гидравлических экскаваторов (по материалам зарубежной информации) // Строительные и дорожные машины. – 2011. – № 6. – С. 34-36.

73. Определение показателей надежности технологических систем в

сфере механизации сельского хозяйства / В. И. Горностаев [и др.] // Успехи современной науки. – 2016. – № 12, Т. 8. – С. 163-165.

74. Орлов Д. Ю. Повышение безопасности эксплуатации кранов мостового типа на основе ограничителя грузоподъемности с расширенными функциональными возможностями: автореф. дис. …к. т. н. – Томск, 2004.

75. Отчет о НИР "Модульное энергетическое средство, универсальное колесное 2К2, унифицированное с самоходным шасси тягового класса 0,6-0,8" / Герасун В. М., Потемкин А. П., Рогачёв А. Ф., Лысенко А. Н., № гос. рег. 01.87.0069617, инв. № 02870062298. – Волгоград: ВСХИ, 1986. – 81 с.

76. Отчет о НИР "Обоснование оптимальных параметров погрузочно-транспортных агрегатов на базе модульных энергетических средств класса 0,6" / Герасун В. М., Рогачёв А. Ф., Юдин С. Ю., Прохватилова Т. В., Дынникова Л. В., Лысенко А. Н., Ткаченко С. В. № гос. рег. 01.87.0057730, инв. № 02.88.0072217. – Волгоград: ВСХИ, 1987. – 93 с.

77. Павлов И. М., Шкробот Ю. Г. Фронтальный погрузчик // Сельский механизатор. – 2010. – № 9. – С. 10-11.

78. Павлов П. И., Демин Е. Е., Хакимзянов Р. Р. Производительность питателей фрезерующего типа погрузчика органических удобрений // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2006. – № 2. – С. 55-57.

79. Падерко П. И., Бурков Е. А. Особенности эргономической экспертизы при реинжиниринге // Материалы 4-й Всерос. мультиконф. по проблемам управления. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2011. – Т. 2. – С. 114-116.

80. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний: Учеб. пособие. Изд. 4-е. – М.: ЛЕНАНД. 2007. – 256 с.

81. Папушин Э. А. Экспериментальная проверка системы мониторинга машинно-тракторных агрегатов // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – Вып. № 4(13). – С. 20-23.

82. Патент № 2309116 РФ, МПК B66 F17/00. Система управления для погрузочно-разгрузочного устройства / Врукс Ричард Энтони, Джауэтт Питер. – Опубл. 27.10.2007.

83. Патент РФ № 2323154 C2. B66C 23/86 Гидропривод поворотной колонны погрузчика / Несмиянов И. А., Рыпакова Н. С., Рогачёв А. Ф. – Опубл. 27.04.2008. Бюл. № 12.

84. Патент РФ № 2362916 C1. F15D 13/01, 15/20, 11/02, 11/08 Гидравлическая система / Несмиянов И. А., Хавронин В. П., Фомин С. Д., Хавронина В. Н. – Опубл. 27.07.2009.

85. Патент РФ № 2455222 С1. В66С 23/86 Гидропривод погрузчика с поворотной колонной / Несмиянов И. А., Герасун В. М., Воробьева Н С., Токарев В. И., Турыгин П. В. – Опубл. 10.07.2012. Бюл. № 19.

86. Патент № 2457172 РФ, МПК B66F9/06, G01C9/12, B66 F17/00. Система контроля положения контейнера на вилочном захвате / Несмиянов И. А., Токарев В. И. – Опубл. 27.07.2012.

87. Патент № 2476372 РФ, МПК7 B66C23/36 (2006.01), B60P3/00 (2006.01). Аварийно-спасательная машина / Герасун В. М., Жога В. В., Несмиянов И. А., Скакунов В. Н., Еременко А. В., Федченков П. В., Дяшкин-Титов В. В., Титов В. В. – Опубл. 2013.

88. Патент № 2501648 РФ, МПК B25J13/02. Устройство ручного управления манипулятором-триподом / Несмиянов И. А., Герасун В. М., Дяшкин-Титов В. В., Жога В. В., Скакунов В. Н. – Опубл. 20.12.2013 г.

89. Патент № 2517465 РФ, МПК F15B19/00. Стенд для испытания гидроподъемников / Несмиянов И. А., Хавронин В. П., Хавронина В. Н., Воробьева Н. С. – Опубл. 27.05.2014 г.

90. Патент № 140869 РФ, МПК G01C 9/00, B66F9/06. Бортовая информационная система контроля положения погрузочного агрегата / Несмиянов И. А., Токарев В. И., Захаров Е. Н. – Опубл.20.05.2014.

91. Петухов И. В. К вопросу обеспечения надежности эргатических систем управления // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 1. – С. 25-30.

92. Плавельский Е. П. Строительные и дорожные машины в технических регламентах Таможенного союза // Строительные и дорожные машины. – 2012. – № 1. – С. 1-2.

93. Плавельский Е. П. Техническое регулирование в Таможенном союзе России, Беларуси и Казахстана // Строительные и дорожные машины. – 2011. – № 6. – С. 2-3.

94. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов-манипуляторов. – СПб.: ДАЕН, 2001. – 208 с.

95. Программно-аппаратный комплекс мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата / И. А. Несмиянов [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 4(36). – С. 227-231.

96. Проектирование механизмов и приборов / К. И. Заблонский [и др.]. – Киев: Вища школа, 1971. – 520 с.

97. Пындак В. И. Изыскания и исследования мобильных грузоподъ-

емных устройств в виде треугольной пирамиды: автореф дис. …к. т. н. – Волгоград, 1971.

98. Пындак В. И. Обоснование и принципы создания мобильных грузоподъемных средств на базе пространственных механизмов для работы в сельском хозяйстве: автореф. дис. ...д. т. н. – М., 1991.

99. Пындак В. И., Рогачёв А. Ф., Гребенник В. В. Малогабаритный гидравлический погрузчик // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1999. – № 8. – С. 30-31.

100. Результаты полевых испытаний модернизированных транспортных средств / И. А. Юхин [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 7. – С. 14-16.

101. Репин С. В., Скакун С. А. Разработка информационной системы управления техническим обслуживанием и ремонтом строительных машин // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 11. – С. 1-4.

102. РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск, ИПК Издательство стандартов, 2006.

103. Робототехнические системы и комплексы: Учеб. пособие для вузов / И. И. Мачульский [и др.]; под ред. И. И. Магульского. – М.: Транспорт, 1999. – 446 с.

104. Рогачёв А. Ф. Обоснование схемы и конструктивных параметров гидроманипулятора для агрегата технического обслуживания // Ресурсосберегающие технологии и конструкторские решения для машинно-тракторных агрегатов: сб. науч. тр. – Волгоград: СХИ, 1985. – Т. 91. – С. 67-72.

105. Романченко М. И., Пастухов А. Г. Определение норм расхода топлива на транспортных работах // Сельский механизатор. – 2011. – № 6. – С. 4-5.

106. Рось Я. В. Автокраны с объемным гидроприводом. Киев, "Техніка", 1978. – 128 с.

107. Рычагов Г. Д. Электронная эра кранов-манипуляторов // Строительные и дорожные машины. – 2001. – № 2. – С. 19-21.

108. Сейфуллаев О. Э. Управление колебательными системами методом скоростного градиента с реализацией на базе Lego Mindstorm NXT // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – С. 349-352.

109. Семашко В., Петрусевич И. Сельскохозяйственные погрузчики // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 11. – С. 22-23.

110. Сергеев С. Ф. Проблемы проектирования сложных эргатических

систем // Мехатроника, автоматизация, управление: материалы 7-й науч.-техн. конф. – СПб.: ОАО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор", 2010. – С. 23-26.

111. Смирнов А. Н. Ограничитель грузоподъемности одноковшового фронтального погрузчика. // Строительные и дорожные машины. – 1990. – № 4. – С. 15.

112. Смыков А. А. Повышение эффективности применения гидроманипуляторов ОАО "ММЗ" для лесохозяйственных и лесозаготовительных работ // Строительные и дорожные машины. – 2013. – № 1. – С. 11-15.

113. Статическая устойчивость тракторных погрузочных манипуляторов / В. М. Герасун [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1978. – № 7. – С. 13-15.

114. Строков В. Л. Концепция создания погрузочно-разгрузочных устройств на базе мобильной энергетики // Создание и использование мобильной энергетики для механизации погрузочно-разгрузочных работ в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. – Волгоград: СХИ, 1984. – Т. 85. – С. 3-14.

115. Тайманов Р. Е., Сапожникова К. В. Развитие метрологии и робототехники // Экстремальная робототехника. Труды международной конференции с элементами научной школы для молодежи. – СПб: Политехника-сервис, 2010. – С. 67-72.

116. Теория механизмов и механика машин: Учебник для втузов / К. В. Фролов [и др.]; род ред. К. В. Фролова. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 496 с.

117. Токарев В. И. Тенденции и перспективы развития сельскохозяйственных погрузчиков как робототехнических систем // Материалы XV Регион. конф. молодых исследователей Волгоградской области. – Волгоград: ИПК "Нива", 2011. – С. 205-206.

118. Турышева Е. С. Совершенствование процесса автоматической защиты гидрофицированного крана от перегрузки и опрокидывания: автореф. дис. …к. т. н. – Красноярск, 2009.

119. Тырнов Ю. А. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов совершенствованием систем контроля режимов их работы: автореф. дис. …д. т. н. – Саратов, 2001. – 48 с.

120. Удовкин А. И. Устойчивость погрузочного гидроманипулятора на основе пространственного исполнительного механизма, агрегатируемого с трактором посредством трехточечной навесной системы: автореф. дис. …к. т. н. – Волгоград, 1988.

121. Уланов Р. Н., Щербаков В. Д. Автомобильные подъемники и автопогрузчики. – М., "Высш. школа", 1977. – 157 с.

122. Ушаков П. Н. Руководство по изучению Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (в вопросах и ответах). Справочное пособие.– М.: "Металлургия", 1979. – 312 с.

123. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения". Серия 10. Вып. 81. – М.: ЗАО "Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности", 2014. – 150 с.

124. Федосеев В. Н. Приборы и устройства безопасности грузоподъемных машин: справочник, 1990.

125. Филимонов А. Б., Покровския Я. О. Современные технологии управления техническим состоянием промышленного оборудования // Мехатроника, автоматизация, управление: материалы 7-й науч.-техн. конф. – СПб.: ОАО "Концерн ЦНИИ "Электроприбор", 2010. – С. 408-411.

126. Фронтальные колесные погрузчики Volvo серии F (по материалам зарубежной информации) / Строительные и дорожные машины. – 2012. – № 3. – С. 1-5.

127. Чибухиян С. С., Кочинян Г. Д. О работе гидроситем автопогрузчиков // Промышленный транспорт. – 1987. – № 8. – С. 25

128. Шевчук Д. Г. Многопараметрическая мехатронная система адаптивного управления движением зерноуборочного комбайна: автореф. дис. … к. т. н. – Ростов-на-Дону, 2013. – 20 с.

129. Шипилевский Г. Б. Состояние и перспективы автоматизации тракторов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – № 5. – 2004. – № 5. – С. 17-19.

130. Шипилевский Г. Б., Викторов А. И. Автоматизация мобильных сельскохозяйственных агрегатов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2001. – № 3. – С. 28-29.

131. Юревич Е. И. Основы робототехники: учеб. пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010 – 368 с.

132. Юхин И. А., Успенский И. А., Симдянкин А. А. К вопросу снижения повреждений сельскохозяйственной продукции при внутрихозяйственных перевозках в АПК // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве: материалы 68-й Международ. науч.-практ. конф., посвящ. Году экологии в России. Министер-

ство сельского хозяйства российской федерации; ФГБОУ ВО "Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева". Рязань, 2017. – С. 425-431.

133. Dynamic Creation of the Optimum Program Motion of a Manipulator-Tripod / V. V. Zhoga [et al.] // Journal of Machinery Manufacture and Reability/ – 2015. – V. 44, № 2. – Pp. 181-186.

134. Filaretov V. F., Zuev A. V. Adaptive Force / Position Control of Robot Manipulators // Proc. of the 2008 IEE E/ ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, July 2-5, 2008, Xi'an, China, pp. 96-101.

135. Vertikalbauma. Specialist guide Branchenfuhrer. Bauma. – 2004. – 29 VFR. – 4APR. – Pp. 48-49.

136. Visual Basic 6.0. Microsoft Press. Руководство пользователя / Пер. с англ. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 992 с.

137. Несмиянов И. А., Токарев В. И. Направления развития роботизированных погрузочных манипуляторов для агропромышленного комплекса [Электронный ресурс] // Современная техника и технологии. – Октябрь, 2012. – Режим доступа: http://technology.snauka.ru/2012/10/1382

138. РУСБИЗНЕСАВТО. [Электронный ресурс] http:www.rbauto.ru /catalog/special-purpose-vehicles/handlers/

139. Токарев В. И., Курбанов Д. Б. Направления совершенствования погрузчиков сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. – Март, 2012. – Режим доступа: http://web.snauka.ru/issues/2012/03/10518.

140. Pedersen S. M., Fountas S. and Blackmore S. (2008). Agricultural Robots – Applications and Economic Perspectives, Service Robot Applications, Yoshihiko Takahashi (Ed.), ISBN: 978-953-7619-00-8, InTech, Available from: http://www.intechopen.com/books/service_robot_applications/agricultural_robots_-_applications_and_economic_perspectives

141. Чехута В. Agritechnica 2007 Сельхозтехника завтрашнего дня // Основные средства. – 2008. – № 1. [Электронный ресурс] http://www.os1.ru /article /agricultural_machinery/2008_02_A_2008_09_29-19_58_37

Приложение

ЦАРИЦЫНСКАЯ ЯРМАРКА®
выставочный центр

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

НАГРАЖДАЕТСЯ УЧАСТНИК

XXVIII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ВЫСТАВКИ

«АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС»

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ

"За программно-аппаратный комплекс мониторинга работы погрузочного агрегата".

Генеральный директор ВЦ "Царицынская ярмарка"
В.Е.Чернова

15 марта 2018 г.
Волгоград

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……... 3

1. Применение систем приборного контроля в мобильных сельскохозяйственных погрузчиках и манипуляторах……. 7

1.1. Сельскохозяйственные погрузчики и манипуляторы в технологических процессах погрузки-разгрузки штучных грузов…..…. 7

1.1.1. Основные технологические процессы переработки штучных грузов в сельскохозяйственном производстве…… 7

1.1.2. Отечественные и зарубежные сельскохозяйственные погрузчики и манипуляторы……. 11

1.2. Контрольно-измерительные и сигнальные системы обеспечения безопасной эксплуатации сельскохозяйственных погрузчиков и манипуляторов…… 19

1.3. Системы автоматического контроля и управления эксплуатационно-технологическими параметрами работы сельскохозяйственных машин…….. 29

1.4. Эффективность использования сельскохозяйственных погрузчиков и оценка их производительности при работе со штучными грузами…… 41

2. Комплексная система мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и контроля устойчивости погрузочного агрегата……... 50

2.1. Обоснование структуры и параметров бортовой информационной системы сельскохозяйственного погрузочного агрегата…... 50

2.2. Система мониторинга эксплуатационно-технологических параметров работы погрузочного агрегата…… 56

2.3. Оценка устойчивости погрузочного агрегата и положений его отдельных звеньев……. 65

2.4. Динамическая модель датчика положения и обоснование его параметров……. 76

3. Исследование элементов комплексной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата……..……..... 90
3.1. Опытный образец системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата…… 90
3.2. Испытание системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата..... 96
3.3. Результаты экспериментальных исследований системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров погрузочного агрегата……. 105
3.4. Оценка погрешностей измерений при экспериментальном исследовании……. 107
3.5. Реализация подсистемы контроля давления и перегрузок в гидроприводе……. 110
4. Экспериментальные исследования системы контроля устойчивого положения погрузочного агрегата…….....…… 113
4.1 Опытный образец бортовой информационной системы контроля устойчивого положения погрузочного агрегата…….. 113
4.2. Лабораторная установка для испытания датчика положения и имитации различных режимов его работы……. 121
4.3. Результаты экспериментальных исследований системы контроля устойчивого положения погрузочного агрегата……. 129
4.4. Вариант применения элементов системы контроля положения погрузочного агрегата…….. 134
5. Оценка надежности разработанной системы, производственная проверка и экономическое обоснование……...… 138
5.1. Оценка надежности разработанной системы мониторинга эксплуатационно-технологических параметров и контроля устойчивости погрузочного агрегата…… 138
5.2. Производственные испытания …… 145
5.3. Технико-экономическое обоснование…….. 147
Заключение……. 150
Литература……. 153
Приложение…… 165

Токарев Владимир Иванович

МОНИТОРИНГ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОГРУЗЧИКОВ

МОНОГРАФИЯ

Текст представлен в авторской редакции
Компьютерная верстка **В. Г. Гирявенко**
Ответственный за выпуск **В. П. Скачков**

Подписано в печать 16.11.20
Объем 6,83 уч.-изд. л. Заказ 12.
Тираж 500 (первый завод 70).

400062, Волгоград, Университетский проспект, 97.

Копировально-множительное бюро ФНЦ агроэкологии РАН