

2. Локли, С. Сон, эволюция и мозг: хронобиология стресса и восстановления / С. Локли, Р. Фостер ; пер. с англ. М.А. Хомутовой. – Санкт-Петербург : Питер, 2022. – 356 с.

3. Маслач, К. Профессиональное выгорание: феномен, исследования, перспективы / К. Маслач, М. Лейтер ; пер. с англ. Т.О. Новиковой. – Москва : Когито-Центр, 2019. – 342 с.

4. Прогрессивные технологии психогигиены труда в АПК : монография / В.И. Медведев [и др.]. – Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. – 290 с.

5. Психологическая безопасность в организации : учеб. пособие / А.Л. Журавлёв [и др.]. – Москва : Изд-во Института психологии РАН, 2021. – 248 с.

6. Эдмондсон, Э. Бесстрашная организация: как создавать психологическую безопасность на рабочих местах для роста, обучения и инноваций / Э. Эдмондсон ; пер. с англ. Ю. Гиматовой. – Москва : Альпина Паблишер, 2020. – 302 с.

7. Зигрист, Й. Модель «усилия – вознаграждение» в исследовании профессионального стресса / Й. Зигрист ; под ред. А.Б. Леоновой. – Москва : Смысл, 2018. – 187 с.

8. Psychosocial risks and mental health in agriculture : technical report / European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). – Bilbao : EU-OSHA, 2024. – 115 p.

Summary. The article examines the impact of seasonal peak workloads on the development of emotional burnout syndrome among agricultural specialists, highlighting specific stressors such as sleep deprivation, cognitive incompleteness of production cycles, and hierarchically imposed hyper-control. The authors substantiate the need to shift the focus from individual stress resistance to designing environmental barriers against fatigue accumulation, including regulated micropauses, task rotation, structured debriefings, and the implementation of polyphasic sleep protocols during high-intensity seasons. Special attention is given to the concept of psychological safety as an organizational resource that legitimizes the right to fatigue and help-seeking without stigmatization. The theoretical framework draws on the psychological safety models of Amy Edmondson, the three-component burnout structure of Christina Maslach, and the psychosocial risk recommendations of EU-OSHA. The key conclusion is that burnout prevention in agriculture during peak periods should be transformed from a set of individual recommendations into a system of mandatory procedural standards integrated into production regulations.

УДК 631.35

Андруш В.Г., кандидат технических наук, доцент

Крастелева Н.В., магистрант

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАКТОРА «АМКОДОР» ПУТЕМ КОНТРОЛЯ УГЛА НАКЛОНА

Аннотация. В статье рассматривается проблема производственного травматизма в сельском хозяйстве Республики Беларусь, связанная с

опрокидыванием энергонасыщенных тракторов, в частности марки «Амкодор», при выполнении работ по уплотнению зеленой массы. Предложена конструкция сигнального устройства на базе микроэлектромеханических систем (MEMS), включающих акселерометр и гироскоп, обеспечивающего контроль угла наклона машины в реальном времени, оповещение оператора и автоматическое ограничение движения при достижении критических значений (20°).

Abstract. The article discusses the problem of industrial injuries in agriculture of the Republic of Belarus associated with the overturning of energy-saturated tractors, in particular the Amkodor brand, during the compaction of green mass. Disclosed is a design of a signalling device based on microelectromechanical systems (MEMS), which includes an accelerometer and a gyroscope, which provides real-time control of the tilt angle of the machine, operator notification and automatic restriction of movement when critical values are reached (20°).

Ключевые слова. Трактор «Амкодор», опрокидывание, техника безопасности, сигнальное устройство, MEMS, акселерометр, гироскоп, угол наклона, устойчивость, фильтр Калмана.

Keywords. The article discusses the problem of industrial injuries in agriculture of the Republic of Belarus associated with the overturning of energy-saturated tractors, in particular the Amkodor Tractor brand, overturning, safety, signaling device, MEMS, accelerometer, gyroscope, tilt angle, stability, Kalman filter.

Обеспечение безопасности труда в агропромышленном комплексе является приоритетной задачей для сельскохозяйственных предприятий Республики Беларусь. Анализ производственного травматизма показывает, что значительная часть тяжелых несчастных случаев со смертельным исходом связана с эксплуатацией мобильной сельскохозяйственной техники. Как отмечается в исследованиях по безопасности сельскохозяйственного производства, особую опасность представляют работы, связанные с возможностью опрокидывания тракторов, поскольку данный вид аварий приводит к тяжелым последствиям [1].

Операция уплотнения (трамбовки) зеленой массы в буртах и траншеях сопряжена с высокими рисками. Работа на краю бурта, неравномерная осадка массы под колесами, наличие уклонов могут привести к потере поперечной или продольной устойчивости [2]. По данным специалистов в области безопасности сельскохозяйственной техники, именно при выполнении таких работ зафиксирован ряд случаев опрокидывания тяжелой техники «Амкодор» [3], что требует разработки и внедрения дополнительных средств активной безопасности, способных предупредить водителя и вмешаться в управление до наступления критической ситуации.

Целью данной работы является обоснование параметров и разработка структурной схемы сигнального устройства контроля угла наклона для трактора «Амкодор» на основе современных микроэлектромеханических датчиков.

Устойчивость трактора против опрокидывания является одной из важнейших эксплуатационных характеристик. Согласно теории трактора, потеря устойчивости наступает при достижении предельного статического угла наклона, который зависит от конструктивных параметров машины: колеи, высоты центра тяжести, типа ходовой части [4].

Для тракторов семейства «Амкодор», используемых в кормопроизводстве, колея составляет 1800–2100 мм, а высота центра тяжести при загруженном манипуляторе может достигать 1200–1400 мм. Расчетный критический угол поперечного наклона для таких машин составляет 25–30° в зависимости от модели и технологической нагрузки [5]. С учетом динамических нагрузок, возникающих при движении по неровностям, и необходимого коэффициента запаса, целесообразно установить порог срабатывания аварийной сигнализации на уровне 20°, что обеспечивает заблаговременное предупреждение оператора об опасности.

Известны различные конструкции сигнализаторов наклона, преимущественно основанные на маятниковом принципе. Так, в авторском свидетельстве SU 834792 описан сигнализатор динамического опрокидывания трактора, в котором используется датчик статического наклона и датчик вертикальных ускорений, что позволяет оценивать не только сам крен, но и характер колебаний машины [6]. Однако, как показывают современные исследования, механические устройства имеют недостаточную точность, инерционность и не позволяют интегрировать их с электронными системами управления двигателем и трансмиссией.

Современный уровень развития микроэлектромеханических систем (MEMS) позволяет создавать компактные и высокоточные датчики на базе акселерометров и гироскопов. MEMS-датчики обладают рядом преимуществ: малые массогабаритные характеристики (объем менее 1 см³ при массе менее 1 г), низкое энергопотребление, высокая надежность, невосприимчивость к виброударным нагрузкам (до 2000g), простота интеграции и низкая стоимость [7].

Промышленные решения, такие как многоосные наклонометры WG 1010, уже применяются на экскаваторах, горных машинах и трелевочных тракторах. В этих устройствах используются высокостабильные акселерометры и гироскопы MEMS с температурной компенсацией, а сложность обработки сигналов решается непосредственно встроенным микропроцессором.

Для систем контроля мобильных сельскохозяйственных агрегатов перспективным является применение инерциальных измерительных модулей, включающих трехосные акселерометры и гироскопы, что подтверждается экспериментальными исследованиями, проведенными на тракторах.

Ключевым фактором точности измерений является место установки датчика. Для исключения влияния локальных деформаций рамы и колебаний

кабины (на пневмоподвеске) предлагается устанавливать электронный блок на несущую раму трактора, в районе проекции центра тяжести машины. Такое расположение позволяет минимизировать погрешности, вызванные работой навесного оборудования и рельефом местности, и максимально точно фиксировать угловые отклонения всего трактора.

Центральный блок управления жестко крепится к раме трактора в районе проекции центра тяжести для исключения ложных срабатываний от вибраций кабины. В кабине оператора размещаются элементы интерфейса: звуковой сигнализатор и визуальный индикатор красного цвета, расположенный на приборной панели в прямом поле зрения водителя. Блок связан с системой управления подачей топлива.

Центральный блок управления (микроконтроллер): принимает и обрабатывает сигналы от датчиков, реализует алгоритмы фильтрации (в том числе фильтр Калмана для компенсации динамических помех), принимает решение и управляет исполнительными устройствами.

Датчик наклона (инерциальный измерительный модуль): представляет собой микросхему, содержащую трехосный MEMS-акселерометр (для измерения угла наклона относительно горизонтали) и трехосный MEMS-гироскоп (для измерения угловой скорости и компенсации динамических помех). Позволяет измерять крен и дифферент в реальном времени.

Звуковой сигнализатор (пьезоэлектрический зуммер): предназначен для привлечения внимания оператора при входе в опасную зону. Предлагается панельный зумер серии 55 или 61 (ЕАО AG) который специально разработан для кабин водителей и транспортного оборудования и монтируется непосредственно в приборную панель (отверстие 22-27мм) у него высокое звуковое давление не менее 100дБ на расстоянии 1м, что гарантирует надежное восприятие сигнала в условиях повышенного шума при работающем двигателе, устойчив к пыли и влаге т.к. корпус имеет защиту IP65, компактный не занимает много места.

Визуальный индикатор: светодиод красного цвета высокой яркости, активируемый при достижении критического угла наклона.

Блок сопряжения с исполнительными механизмами: релейные модули или цифро-аналоговые преобразователи для воздействия на электронный регулятор топливного насоса высокого давления (ТНВД).

Функциональная схема устройства (рисунок 1) отражает информационные потоки и управляющие воздействия между элементами системы.

Сигналы от акселерометра и гироскопа поступают в микроконтроллер, где подвергаются фильтрации с использованием алгоритма Калмана для компенсации динамических помех, возникающих при движении по неровностям. Обработанные значения угла сравниваются с пороговыми значениями, хранящимися в памяти. При превышении установленных

порогов формируются управляющие сигналы на звуковую и визуальную сигнализацию, а также на исполнительный механизм ограничения подачи топлива.

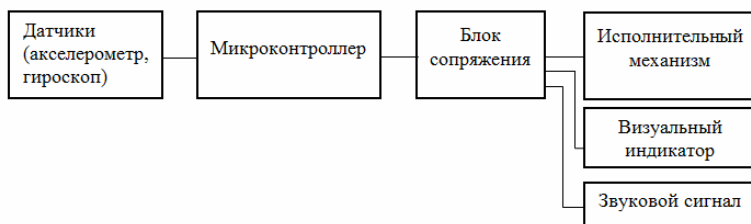


Рисунок 1 – Функциональная схема
сигнального устройства контроля угла наклона трактора

Алгоритм работы устройства реализуется следующим образом:

1. В нормальном режиме (угол $< 15^\circ$) устройство находится в режиме мониторинга, данные датчиков обрабатываются и сравниваются с порогами.

2. При увеличении угла наклона более 15° (предупредительный порог) подается прерывистый звуковой сигнал.

3. При достижении угла 20° (критический порог) включается непрерывный звуковой сигнал высокой тональности и активируется визуальный индикатор красного цвета.

4. Если водитель не реагирует в течение заданного времени (1–2 секунды) и угол наклона продолжает расти, центральный блок формирует управляющий сигнал на ограничение подачи топлива, что приводит к плавной остановке трактора и предотвращает опрокидывание.

Водитель трактора «Амкодор» получает от устройства два типа информации:

- предупредительная информация: при входе в опасную зону ($15\text{--}20^\circ$) водитель слышит звуковой сигнал. Это требует от него повышенного внимания и визуальной оценки ситуации;

- аварийная информация: при угле 20° загорание красного индикатора и непрерывный звук сигнализируют о том, что порог нарушен и системы автоматики начнут вмешательство в управление. Водитель должен прекратить опасный маневр. При отсутствии реакции блок управления самостоятельно ограничивает подачу топлива.

С психофизиологической точки зрения, комбинированное звуковое и световое оповещение обеспечивает гарантированное привлечение внимания оператора даже в условиях высокой шумовой нагрузки в кабине [8].

Оснащение тракторов «Амкодор» современным сигнальным устройством на базе MEMS-датчиков (акселерометра и гироскопа) является актуальным направлением повышения безопасности труда в сельском хозяйстве Беларуси. Теоретический анализ показал, что критический угол поперечного наклона для данных машин составляет 25–30°, что обосновывает выбор порога срабатывания 20°.

Предложенная схема размещения блока на раме в районе центра тяжести обеспечивает высокую точность измерений. Введение двух уровней сигнализации (звуковой и визуальный) с последующим автоматическим ограничением движения при достижении критического угла в 20° позволяет существенно снизить риск опрокидывания техники при выполнении таких опасных операций, как трамбовка силосной массы, тем самым сохраняя жизнь и здоровье операторов.

Список использованной литературы

1. Шкрабак, В.С. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве / В.С. Шкрабак, А.В. Луковников. – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2015. – 346 с.
2. Андруш, В.Г. Повышение производственной безопасности при уплотнении зеленой массы предотвращением опрокидывания трамбующей техники / В.Г. Андруш, Н.В. Крестелева (магистрант) // Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения и технического сервиса в АПК /редкол.: Л. М. Акулович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2025. – 648 с. – С. 504-509.
3. Скойбеда, А.Т. Безопасность сельскохозяйственных тракторов и мобильных машин / А.Т. Скойбеда, В.А. Гришкевич. – Минск: Ураджай, 2018. – 256 с.
4. Андруш, В. Г. Производственная безопасность в АПК. Практикум. В 2 ч. Часть 1 [Текст] : учебное пособие для студентов УВО по группе специальностей "Агроинженерия" / В. Г. Андруш, Т. В. Молош, О. В. Абметко ; БГАТУ, Кафедра управления охраной труда. - Минск, 2018. - 324 с.
5. Поспелов, Ю.А. Устойчивость трактора / Ю.А. Поспелов. – Москва: Машиностроение, 1966. – 242 с.
6. Сигнализатор динамического опрокидывания трактора: а. с. 834792 СССР: МПК G01C9/00 / Б.Д. Цвик, Я. Хайдаров, М.Л. Тамиров [и др.]; заявитель Всесоюзный научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. – № 2700521/27-11; заявл. 25.12.1978; опубл. 30.05.1981.
7. Сысоев С. MEMS-датчики в автомобильных приложениях/ С.Сысоев //Электроника и компоненты. – 2009. – № 8. – Р. 28–35.
8. Андруш, В. Г. Охрана труда : учебное пособие / В. Г. Андруш, Л. Т. Ткачева, Т. П. Кот. – Минск: РИВШ, 2021. – 620 с.

Summary. The proposed arrangement of the block on the frame in the area of the center of gravity provides high measurement accuracy. The introduction of two alarm levels (sound and visual) with subsequent automatic restriction of movement when reaching a critical angle of 20° can significantly reduce the risk of overturning equipment when performing such dangerous operations as compacting silage, thereby preserving the life and health of operators.