

УДК 331.158:658.345

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0036

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ РИСКОВ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» НА ПРИМЕРЕ СЕЯЛКИ
СЗС-2.1 ПРИ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

© 2021

Попова Анна Георгиевна, кандидат технических наук, доцент**Запорощенко Елена Витальевна**, кандидат технических наук, доцент*Филиал Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил**Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина**(454015, Россия, г. Челябинск, ул. Городок 11, д. 1, e-mails: krasata79@mail.ru, pelvi@rambler.ru)*

Аннотация. В статье рассматривается одна из ведущих отраслей сельского хозяйства – растениеводство. Выделены источники травматизма в этой области и описано, чем определяется совершенство конструкции. Представлен один из методов определения критерия риска – идентификатор. Выделены этапы жизненного цикла машины, во время которых есть вероятность возникновения опасных событий. Приведены в целом все причины травматизма в агропромышленном комплексе и в связи с этим решение поставленных задач в этой сфере. Приводится распределение несчастных случаев в агропромышленном производстве. Рассматривается схема принципов идентификации опасностей. Представлен алгоритм расчета степени риска подсистемы «Машина», что позволяет определить элементы риска и метод расчета риска в полном объеме системы «Человек-Машина». Сделан вывод, что риск можно воспринимать как функцию времени. Предложено оптимальное сочетание технологических регулировок и технических операций детально для сеялки СЗС-2.1, базируясь на ранее проведенных расчетах и исследованиях, для минимальной вероятности появления опасного события.

Ключевые слова: идентификация, машина, оператор, отказ, риск, оценка, безопасность.

**IDENTIFICATION OF RISKS OF THE "MAN-MACHINE" SYSTEM ON THE EXAMPLE OF THE
SZS-2.1 SEEDER WHEN ASSESSING THE SAFETY OF AGRICULTURAL MACHINERY**

© 2021

Popova Anna Georgievna, candidate of technical sciences, associate professor**Zaporoshchenko Elena Vitalievna**, candidate of technical sciences, associate professor*Branch of the Military Educational and Scientific Center of the Air Force**Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin**(454015, Russia, Chelyabinsk, Gorodok street, 11, building 1, e-mails: krasata79@mail.ru, pelvi@rambler.ru)*

Abstract. The article deals with one of the leading branches of agriculture – crop production. The sources of injuries in this area are identified and described, which determines the perfection of the design. One of the methods for determining the risk criterion – the identifier-is presented. The stages of the life cycle of the machine, during which there is a probability of occurrence of dangerous events, are highlighted. In general, all the causes of injuries in the agro-industrial complex and, in this regard, the solution of the tasks set in this area are given. The distribution of accidents in agro-industrial production is given. The scheme of the principles of hazard identification is considered. The algorithm for calculating the degree of risk of the "Machine" subsystem is presented, which allows us to determine the risk elements and the method for calculating the risk in the full scope of the "Man-Machine" system. The optimal combination of technological adjustments and technical operations in detail for the SZS-2.1 seeder is proposed, based on previously performed calculations and studies, for the minimum probability of a dangerous event.

Keywords: identification, machine, operator, failure, risk, assessment, safety.

Введение. В сельском хозяйстве одной из опасных отраслей является растениеводство. На него приходится наибольшее количество несчастных случаев. Самоходные сельскохозяйственные машины в растениеводстве в основном представляют собой источник летального травматизма. Это чаще всего травмы при эксплуатации сельскохозяйственной техники. Минимизировать эти опасности возможно лишь путем безукоризненного соблюдения техники безопасности и поддержания машин и оборудования в состоянии исправности [1].

Работа операторов колесных машин сопряжена и с опасными факторами, воздействие которых на человека зависит от конструкции и технического состояния машины. Все «машины», которые эксплуатируются, помимо исполнения основных требований к техноло-

гическому процессу конкретной машины, должны гарантировать безопасность труда, в сфере их назначения, при работающей системе оператор-машина-среда [14]. По данным исследований, степень совершенства конструкции «машина» оценивается уровнем травмирования оператора, работающего с ней после ее изготовления или ремонта. Для объективной оценки уровня безопасности мобильной сельскохозяйственной техники можно воспользоваться идентификацией рисков системы «Человек-Машина». Так как машина является элементом системы «Человек-Машина-Среда». Безопасность функционирования этой системы зависит от каждого ее элемента. Одной из основных характеристик машины является ее состояние. Есть три стадии состояния машины: первая стадия – новая; вторая стадия – небольшой износ; третья стадия – не

подлежит эксплуатации. Иными словами, есть необходимость в расчетах критериев рисков, для избежания отказов подсистемы «Машина».

Целью работы является определение идентификацию рисков системы «Человек-Машина» Для оценивания безопасности сельскохозяйственной техники

Материалы и результаты исследования. Идентификация является одним из ведущих методов определения критерия риска.

Важным этапом оценки риска или вероятности наступления опасного события любой машины, который осуществляется после определения пределов ее эксплуатации, является систематическая идентификация прогнозируемых опасностей и опасных событий, которые могут иметь место в течение всего жизненного цикла машины, в том числе во время [2]:

- а) транспортировки, сборки и монтажа;
- б) ввода в эксплуатацию;
- в) этапа эксплуатации;
- г) вывода из эксплуатации, демонтажа и утилизации.

Предполагается, что связанная с машиной опасность рано или поздно приведет к нанесению вреда, если ее не устранить или не предпринять требуемые меры безопасности.

Изучая существующие исследования, можно отметить, что изменение конструкции и применение дополнительных механизмов в подсистеме «Машина» – самые применяемые методы для увеличения безопасности системы, при этом, практически не затрагивая область безопасности технологических и управленческих регулировок. Но очевидно, что при снижении числа технологических операций, а также возможности их автоматизации, и, как следствие, увеличении производительности механизированных работ, имеющееся травмирование в этой области можно уменьшить, тем самым повышая уровень безопасности работы оператора, за счет снижения количества регулировок.

В основном причинами травматизма являются чаще всего неудовлетворительная организация производства работ, а так же устаревшая техника, низкая эксплуатационная надежность, несвоевременные ремонты и плановые технические обслуживания, нехватка квалифицированных кадров по ремонту и эксплуатации, несоблюдение сотрудниками трудовой дисциплины и требований безопасности, эксплуатация неисправных машин, механизмов и оборудования. Также причинами травматизма и гибели операторов сельскохозяйственной техники является возгорание этой техники, временных помещений и сооружений, устанавливаемых для отдыха людей и других целей (хранения продуктов, материалов, запасных частей и т.д.) Особенностью сельскохозяйственного травматизма является сезонность, несвоевременное оказание медицинской помощи, большое количество микротравм [3].

Снижение процента травматизма операторов, в среднем и до 30%, безусловно, возможно за счет мо-

дернизации конструктивных параметров на этапе проектирования новой или усовершенствованной машины.

Однако, приобретение современной техники несет за собой немалые экономические вложения и не всегда есть такая возможность. Поэтому достичь повышения безопасности для уже эксплуатируемой сельскохозяйственной техники важная задача, которую можно решить за счет увеличения эксплуатационной надежности функционирования оборудования, механизмов и систем, тем самым повлияв на надежность машины и безопасность оператора.

Необходимая технологическая безопасность закладывается при решении следующих задач:

- внедрение спроектированных усовершенствованных моделей сельскохозяйственных машин;
- разработка и воплощение инженерных решений, для повышения безопасности эксплуатируемой техники;
- систематизированное обучение и инструктирование операторов мобильных сельскохозяйственных машин.

Математическое моделирование и экспериментальные исследования являются основными методическими этапами в исследовании для процесса формирования технической и технологической безопасности машины.

Надлежащим образом выполненный количественный расчет можно использовать для достаточно комплексного анализа и получения четкой картины развития опасной ситуации до нанесения вреда. Благодаря этому удастся выработать большее количество предложений по снижению риска, выбрать защитные меры исходя из понимания механизмов возникновения вреда.

Различные специалисты участвуют при выявлении и составлении критериев безопасности мобильных сельскохозяйственных машин, опираясь на исследования, наблюдения, отслеживание влияния факторов опасности на безопасность оператора.

Распределение несчастных случаев в агропромышленном производстве в 2017-2020 г.г. представлено на рисунке 1.

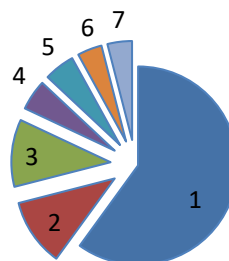


Рисунок 1 - Классификация несчастных случаев агропромышленного производства за 2017-2020 г.г.:

- 1 - неисвершенство технологических процессов (61 %);
- 2 - высокий износ техники и оборудования (10 %);
- 3 - нарушение санитарно-гигиенических факторов (11 %);
- 4 - некачественная организация производственных работ (5 %);
- 5 - отсутствие обучения безопасности труда (5 %);
- 6 - неудовлетворительная модернизация предприятий (4 %);
- 7 - неудовлетворительная дисциплина труда (4 %).

Нормативные документы, касающиеся машин, оборудования определенного типа или характерных для них опасностей, являются основным материалом для идентификации опасностей и разработке защитных мер.

Идентификация рисков опасностей включает разные этапы, такие как, например, анализ документации, сбор информации, анализ допущений, методы моделирования (исследование на моделях различные процессы и выявление всевозможных рисков), анализ возможностей и опасностей (возможное использование данных предыдущих проектов), составление диаграмм, сравнение списка рисков и категорию рисков, экспертная оценка.

Лишь структурирование идентификации опасностей позволяет углубленно проанализировать все этапы жизненного цикла машины и оборудования, режимы работы и функциональность.

В ГОСТ Р 54124-2010 классифицируются несколько структурированных методов идентификации опасностей, но если рассматривать в общем, то есть два принципа, представленные на рисунке 2, и оперировать нужно одним из двух принципов – нисходящим или восходящим [4, 6].

Нисходящий (сверху вниз) принцип базируется на

определении потенциальных последствий отказов и воздействий, что в будущем послужит базой для определения причин возникновения вреда. Такой принцип предполагает, что выявление опасностей производят на основании перечня опасных событий.

Восходящий (снизу вверх) принцип рассматривает все возможные опасности, последствия ее возникновения и вред, к которому она может привести. Это наиболее комплексный подход, но достаточно время затратное [7].

В ходе оценки риска можно произвести сравнение результатов, полученных для данной машины или их части, с показателями по аналогичным машинам или их частям при выполнении следующих условий [9]:

- аналогичная машина соответствует требованиям действующих стандартов;
- машины аналогичны в отношении использования по назначению, прогнозируемого неправильного применения и конструкции;
- опасности и элементы риска допускают возможность сравнения;
- машины обладают аналогичными техническими характеристиками;
- машины эксплуатируются в аналогичных условиях.



Рисунок 2 – Принципы идентификации опасностей: нисходящий и восходящий

Такое сравнение не исключает необходимости проведения оценки риска для специфических эксплуатационных условий для данной конкретной машины.

По определению двумя главными характеристиками риска являются тяжесть и вероятность нанесения вреда. В ходе расчета степени риска необходимо определить наиболее сильный риск для каждого опасного события. При этом результат расчета степени риска обычно выражают в виде уровня, показателя или балла.

На основе алгоритма расчета степени риска [1] оценка риска подсистемы «Машина» может быть представлена в виде выражения:

$$R = f(P_i; Y_i)$$

$$P_i = \sum_{i=1}^n P_{1i} + P_{2i};$$

$$Y_i = \sum_{i=1}^n Y_{1i} + Y_{2i},$$

тогда

$$R = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot Y_i) \quad (1)$$

где P – вероятность критического отказа/воздействия; Y – последствия критического отказа/воздействия.

Анализируя алгоритм, элементами риска подсистемы «Машина» будут являться: степень тяжести вреда; вероятность нанесения вреда, которая возникает при наступлении опасного события (отказа); ее частота и продолжительность воздействия на оператора.

Таким образом, элементы риска зависят от определенного опасного события (отказа), который изменяется от вероятности появления опасного события. Это [10]:

- частота и продолжительность опасности;
- вероятность наступления критического отказа или воздействия;
- возможность исключения или ограничения опас-

ного события.

В зависимости от различных обстоятельств и элементов, выше перечисленных, риск может меняться, а значит, он подвержен определенной динамике, то есть риск можно воспринимать как функцию времени. Определяя и понимая роль конкретных факторов, которые оказывают влияние на степень риска, получаем доступ к узконаправленному воздействию на них, а, значит, и появляется возможность управлять риском, изменяя, таким образом, и контролируя частоту отказов (событий) [11]. Если есть возможность управления риском, то, значит, в известном смысле и в определенной степени, реально управлять опасностью, угрожающей объекту (оператор, машина), который будет соответствовать формуле 1.

В процессе выполнения различных сельскохозяйственных операций источники и факторы опасностей, которые при выполнении технологического процесса сопровождают оператора мобильных сельскохозяйственных машин, при постоянно меняющихся условиях труда, должны рассматриваться в совокупности их воздействия. По этой причине возникает необходимость определения критерия технологической безопасности для оценивания работы оператора.

Значимость и вероятность того или иного отказа, обнаружение отказа могут быть объединены для определения меры критичности. Одним из элементов риска является процедура устранения ошибок, направленная на уменьшение вероятности возникновения ошибок. Поскольку устранить ошибку может быть сложно, цель состоит в том, чтобы сделать объект или процесс более устойчивым к ошибкам человека.

Опасная ситуация возникает, когда один или несколько человек подвергаются опасности или когда отказ машины может быть критическим (может нанести вред). При этом, как показано на рисунке 2, нанесение вреда является следствием опасного события, в том числе критического отказа и (или) критического воздействия. При оценке вероятности нанесения вреда следует рассмотреть все аспекты.

Используя формулу (1) можно добиться обработки отказа, который может подвергнуться к одному или нескольким из следующих действий [15]:

- устранение вида отказа;
- снижение вероятности возникновения вида отказа;
- устранение или уменьшение последствий вида отказа.

Снижение риска является при выполнении следующих условий:

- рассмотрены все режимы работы и все возможные случаи вмешательства в работу машины;
- все источники опасности были исключены, риск снижен до минимально возможного уровня;
- учтены все отказы, возникшие в результате применения защитных мер;
- операторы достаточным образом проинформированы и предупреждены об остаточном риске;
- защитные меры совместимы друг с другом;

– в полной мере учтены возможные последствия, к которым может привести использование машины;

– защитные меры не ухудшают условий работы оператора и не влияют на удобство работы с машиной.

Заключение. Основываясь на ранее нами проведенные расчеты и исследования на появление опасного события для сеялки СЗС-2.1 и зная, в каком случае опасное событие может произойти [12, 14], предложено оптимальное сочетание технологических регулировок и технических операций для сеялки для минимальной вероятности появления опасного события, при котором $0 \leq P(A) \leq 1$, где A – показатель, не соответствующий государственному стандарту.

Минимальная вероятность появления опасного события возникает при следующем сочетании: отсутствие технических операций, но количество технологических регулировок может достигать максимального количества по стандарту (от 0 до 10) [13].

Отсюда следует вывод, что при определении риска необходимо, прежде всего, знать частные характеристики возникновения рассматриваемых элементов риска при отказах в подсистеме «Машина», а также предполагаемые размеры его социальных, экономических, технических и экологических последствий.

Поэтому, когда машина поступает в эксплуатацию, можно спрогнозировать безотказность определенных узлов и проанализировать результаты отказов в эксплуатации, которые могут быть использованы для определения риска подсистемы «Человек-Машина».

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о необходимости применения системного подхода в вопросах повышения уровня безопасности операторов мобильных машин и разработки критерии риска, который позволил бы объективно оценить риск травмирования оператора при устранении транспортно-технологических отказов в зависимости от ее стадии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Дмитриев М.С. Повышение безопасности и улучшение условий труда оператора в транспортно-технологическом процессе сельскохозяйственного производства: автореф. дис. д-ра техн.наук., Санкт-Петербургский гос. аграрный университет, Санкт-Петербург – Пушкин, 2012.
2. Аверьянов Ю.И., Попова А.Г., Гребенщикова О.А., Шаманова Е.В. Оценка профессионального риска при выполнении операции технологического обслуживания. Материалы LIV международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству», г. Челябинск, ЧГАА, 2015 г.
3. Попова А.Г. Улучшение условий охраны труда операторов мобильных колесных машин путем совершенствования технологической безопасности системы «Оператор – Машина – Среда». Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, ВНИИ ОТ, г. Орел, 2006.
4. ГОСТ Р 54124-2010. Безопасность машин и оборудования. Оценка риска.
5. ГОСТ 12.2.111-85. Межгосударственный стандарт. Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. 14 стр.
6. Горшков Ю.Г., Попова А.Г. Улучшение условий труда операторов мобильных колесных машин за счет автоматической блокировки простого шестеренчатого дифференциала. Журнал. Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве, 2011 г. № 1 (65), с. 37-40.
7. Аверьянов Ю.И., Глемба К.В., Попова А.Г., Шаманова Е.В. Теоретическое обоснование критерия риска социально-технической системы «Водитель –Авто-

мобиль-Дорога-Среда». Материалы IX всероссийской научно-практической (с международным участием), посвященной памяти профессора, д-ра техн. наук Резника Л.Г. г. Тюмень, ТГНУ, 2016 г. С. 12-18.

8. Попова А.Г. Анализ физиологических основ утомления и его влияния на безопасность трудового процесса сельскохозяйственного назначения. Наука. КИЭУ, Костанай. 2013. – №4. – С. 37-42.

9. Попова А.Г. Улучшение условий охраны труда операторов мобильных колесных машин путем совершенствования технологической безопасности системы «Оператор – Машина – Среда» автореф. дис. к-та техн.наук., ВНИИ ОТ, г. Орел, 2006.

10. Семенов В.А. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие – СПб.: Питер, 2013г.

11. Аверьянов Ю.И., Глемба К.В., Попова А.Г. Критерий риска травмирования операторов при устранении технических отказов на мобильных сельскохозяйственных машинах. Материалы юбилейной XLV Международной научно-технической конференции, Челябинского государственного агроинженерного уни-верситета. – Челябинск. – 2006. – Ч. 4. – С. 71-75

12. Аверьянов Ю.И., Попова А.Г., Запорощенко Е.В. Исследование вероятности возникновения опасного события подсистемы «Машина» для оценки безопасности сельскохозяйственной техники. Научный журнал «АПК России», том 26, № 4. Ноябрь, 2019, ЮУрГАУ, г. Челябинск, С. 495-498.

13. Попова А.Г. Возникновение опасных ситуаций. Материалы юбилейной XLV Международной научно-технической конференции, Челябинского государственного агроинженерного университета. – Челябинск. – 2006. – Ч. 4. С. 100-103.

14. Петровская Е.В. Повышение равномерности распределения рабочей жидкости штангового опрыскивателя. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, ФГОУ ВПО "ЧГАУ", г. Челябинск, 2006.

15. Аверьянов Ю.И., Попова А.Г., Шаманова Е.В., Гребенщикова О.А. Оценка профессионального риска при выполнении операции технологического обслуживания. Материалы LI международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству», Челябинской государственной агроинженерной академии. – Челябинск. – 2015. – Ч. VIII.

Статья поступила в редакцию 16.03.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021