

ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ НАДЁЖНОСТИ СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ

Андрей Новицкий, Александр Банний

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Аннотация. В статье представлена методика формирования логико-вероятностных моделей надёжности сложных структурных систем. Предложены критерии минимизации кратчайших путей и минимальных сечений для повышения надёжности средств для приготовления и раздачи кормов.

Ключевые слова. Надёжность, система, логико-вероятностные методы, средства для приготовления и раздачи корма.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Поиск резервов повышения эффективности использования сложной техники в сельском хозяйстве - важная народнохозяйственная задача. Резервы эффективного использования машин могут быть выявлены в результате системных исследований технологических процессов, в которых, участвуют «человек - машина - среда». В частности, исследуя технологический процесс приготовления и раздачи корма, как сложную структурную систему «человек - машина - среда» («ЧМС»), можно выявить достаточно точно степень влияния составляющих компонент на надёжность функционирования системы.

Технологический процесс приготовления и раздачи корма, как системы «ЧМС», с позиций надёжности может быть качественно и количественно описан методами логико-вероятностного моделирования. Основными характеристиками сложной технологической системы принято считать: коэффициент готовности; вероятность отказа; вероятность безотказной работы; интенсивность перехода с исправного состояния в состояние отказа и возвращение в первоначальное состояние. Для получения указанных характеристик надёжности технологической системы необходимо получить статистические

данные по представленным показателям и закономерности их изменения.

В качестве сложной структурной системы рассмотрим систему приготовления и раздачи корма «человек - машина - среда». Сложность представленной системы определяется большим количеством элементов, сложностью функциональных и логических связей между элементами и подсистемами, многорежимностью работы, вероятностью восстановления или невозможности восстановления элементов в зависимости от вида повреждений, а также последствий, которые могут возникнуть в результате отказа элементов. Кроме этого, самую большую сложность представляет взаимосвязь составляющих: человек - машина - среда.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Особенность использования логико-вероятностных методов исследования надёжности машин и их приложения изложены во многих научных работах [9, 18, 19, 21]. За последние несколько лет эти методы нашли широкое внедрение при проектировании систем и вычислении их надёжности [8, 13]. Использование различных методов оценки надёжности сельскохозяйственной техники исследованы

профессором Бойком А.И. и его учениками [1, 2, 4 - 6].

Среди изданных научных трудов особый интерес представляют исследования эргативных систем, в том числе систем сельскохозяйственного назначения [3, 10, 11, 17]. Основная цель анализа – определение безопасности машин с применением логико-вероятностных моделей, определение причин и расчёт риска возникновения отказов, формирование мероприятий для их предотвращения и устранения.

Логико-вероятностные модели могут быть использованы для определения риска влияния основных составляющих на надёжность систем "ЧМС", которыми являются средства для приготовления и раздачи корма (СПРК).

В последние годы рассматривались отдельные вопросы анализа и оценки надёжности указанных машин [2, 3, 12], но в большинстве научных исследований авторы представляли аналитический обзор конструкций или конструктивно-функциональные схемы средств для приготовления и раздачи корма [14 - 16, 20].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исходя из проведенного выше анализа можно отметить, что при определении надёжности машин для приготовления и раздачи корма фирмы «DeLaval», в качестве подсистем выступают следующие механизмы машины: загрузки, измельчения-смешивания, рама с ходовой частью, выгрузки.

Представленные подсистемы являются достаточно сложными и состоят из большого количества простых элементов.

Анализ литературных источников и проведенные исследования показывают, что этот вопрос изучался мало в разрезе механизма загрузки кормов, с учётом таких составляющих системы, как «человек - машина - среда».

Исходя из выше представленного, целью формирования логико-вероятностных моделей сложных структурных систем есть определение надёжности механизмов СПРК, как составляющих системы «ЧМС».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для понимания и ясности представленного материала, рассмотрим механизм загрузки корма, как структурно-сложную подсистему системы «человек – машина – среда» средства для приготовления и раздачи корма (система «ЧМС» СПРК).

Модель формирования отказов начинается из установления последовательности опасных ситуаций (ПОС) – отказов системы. В логико-вероятностной теории аналитическое описание опасного состояния осуществляется с применением логических функций отказов систем (ФОС). Аргументами ФОС являются исходные условия (ИУ), в качестве которых выступают отказы машин и ошибки операторов, и исходные события (ИС), в качестве которых выступает негативное влияние окружающей среды. После складывания и апробации последовательности опасных ситуаций, можно перейти к складыванию ФОС – кратчайших путей возникновения отказов системы.

Необходимо вспомнить, что в предыдущих исследованиях [7] СПРК «DeLaval» структурно, с позиций обеспечения надёжности была представлена как следующая блок-схема: механизм загрузки, механизм измельчения-смешивания, рама с ходовой частью, выгрузной механизм. Для решения представленной в статье задачи, можно провести формирование логико-вероятностной модели оценки надёжности механизма загрузки, как составляющей системы «ЧМС» на примере СПРК «DeLaval». Опыт использования таких средств показывает, что надёжность механизма загрузки лимитируют ножи фрезы и детали привода. Но особенностью износа и аварийных отказов ножей есть то, что они приводят к возникновению дисбаланса барабана и нуждаются в проведении трудоёмкого технологического процесса (балансирования барабана). Отказы деталей привода вала барабана чаще всего могут возникать в результате отказа подшипников вала, приводных цепей и установочных втулок. Кроме этого, отказы

механизма загрузки могут быть вызваны отклонением технических условий на присоединение механизма к бункеру. Следует отметить, в данном случае причиной отказов может быть изменение расстояния между барабаном и бункером, которое должно составлять 20-25мм, или между барабаном и поверхностью земли в течение работы СПРК, которая должна быть в пределах 15-20мм. Практика использования СПРК «DeLaval» показывает, что комплексной причиной возникновения отказов механизма загрузки является несвоевременность контроля за состоянием деталей и регулировки представленных выше параметров.

СПРК управляется и обслуживается человеком-оператором, поэтому оператор рассматривается, как важная составляющая, от которой зависит надежность механизма загрузки системы «ЧМС».

Представим сценарий возникновения отказа механизма загрузки на рисунке. Отказ механизма обязательно будет иметь место, если возникнет одно из исходных условий и исходных ситуаций. Исходные условия: отказы оператора, которые связаны с недостаточной квалификацией или же ошибкой оператора ($Z_1 - Z_3$); отказы деталей, рабочих органов, положение барабана и отсутствие своевременной наладки

$$Y_c(Z_1, \dots, Z_{11}) = \begin{vmatrix} Z_1 & & & & \\ & Z_2 & & & \\ & & Z_3 & & \\ & & & Z_4 & Z_5 \\ & & & & Z_6 \\ & & & & & Z_7 \\ & & & & & & Z_8 \end{vmatrix} = |Z_9| = \begin{vmatrix} Z_{10} \\ Z_{11} \end{vmatrix}. \quad (1)$$

Полученная функция монотонная и повторная, поскольку замена любого элемента, который отказал на исправный не приведет к отказу системы. Раскроем скобки и получим логические функции отказов подсистемы загрузочный механизм в виде дизъюнкции 16 кратчайших путей возникновения отказов.

То есть, риск возникновения отказа механизма загрузки связан с реализацией одного из 16 рассмотренных способов формирования отказа. Инвертируя матрицу (2), получим логические функции безопасности системы (ФБС) в виде дизъюнкции 12 минимальных сечений предупреждения отказов.

Анализируя ФОС - кратчайшие пути

механизма ($Z_4 - Z_9$). Исходными опасными ситуациями может быть попадание посторонних предметом в зону работы механизма или же работа СПРК на неровной площадке (Z_{10}, Z_{11}), которая может приводить не только к изменению расстояния между барабаном и поверхностью площадки, но и к повреждению ножей, возникновения аварийных отказов.

Для математического описание представленной модели можно использовать логические функции отказа систем. Но при этом следует помнить, что проблема единственности и полноты при исследовании вероятности возникновения отказа системы ставит перед нами два основных вопроса. Первый – будет ли обеспечено единое толкование специалистами возможных путей перехода системы в состояние отказа. Второй – будут ли учтены все исходные условия и исходные ситуации, которые способствуют отказу системы. Положительные ответы на эти вопросы могут быть получены при условии использования математики и установления масштабов исследуемой системы.

Исходя из этого, логические ФОС могут быть записаны как логическая матрица событий Z_i :

возникновения (2) и ФБС - минимальные сечения предупреждения отказов (3), приходим к выводу, что для предотвращения отказов механизма загрузки достаточно своевременно проводить контроль и регулировку состояния рабочих органов, деталей и непосредственно самого механизма (то есть Z_9 и Z'_9).

Генерация последовательностей, которые представлены в матрицах (2) и (3) открывает возможность исследования, анализа и синтеза причин отказов, и соответственно, необходимость постановки задач об усилении требований к отдельным составляющим системы «ЧМС» СПРК, которые обеспечат необходимый уровень ее надёжности.

$$y_c(Z_1, \dots, Z_{11}) = \begin{pmatrix} Z_1 Z_6 Z_9 Z_{10} \\ Z_1 Z_6 Z_9 Z_{11} \\ Z_1 Z_7 Z_9 Z_{10} \\ Z_1 Z_7 Z_9 Z_{11} \\ Z_1 Z_8 Z_9 Z_{10} \\ Z_1 Z_8 Z_9 Z_{11} \\ Z_1 Z_4 Z_5 Z_9 Z_{10} \\ Z_1 Z_4 Z_5 Z_9 Z_{11} \\ Z_2 Z_3 Z_6 Z_9 Z_{10} \\ Z_2 Z_3 Z_6 Z_9 Z_{11} \\ Z_2 Z_3 Z_7 Z_9 Z_{10} \\ Z_2 Z_3 Z_7 Z_9 Z_{11} \\ Z_2 Z_3 Z_8 Z_9 Z_{10} \\ Z_2 Z_3 Z_8 Z_9 Z_{11} \\ Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_9 Z_{10} \\ Z_2 Z_3 Z_4 Z_5 Z_9 Z_{11} \end{pmatrix} \cdot \quad (2)$$

$$(Z_1, \dots, Z_{11}) = \begin{pmatrix} Z'_9 \\ Z'_1 Z'_2 \\ Z'_1 Z'_3 \\ Z'_4 Z'_6 \\ Z'_5 Z'_6 \\ Z'_4 Z'_7 \\ Z'_4 Z'_8 \\ Z'_5 Z'_7 \\ Z'_5 Z'_8 \\ Z'_6 Z'_7 \\ Z'_6 Z'_8 \\ Z'_{10} Z'_{11} \end{pmatrix} \cdot \quad (3)$$

ВЫВОДЫ

Проведенный логико-имитационный анализ исходных условий и событий дает возможность выявить взаимосвязь составляющих системы «человек-машина-среда» и их влияние на надежность механизма загрузки СПРК. Используя функции кратчайших путей и минимальных сечений формирования отказов средств,

можно разрабатывать соответствующие мероприятия для обеспечения работоспособности СПРК, которые направлены на повышение их надёжности.

Перспективными в этом направлении могут быть исследования, которые направлены на более детальное описание других механизмов машин для приготовления и раздачи кормов.

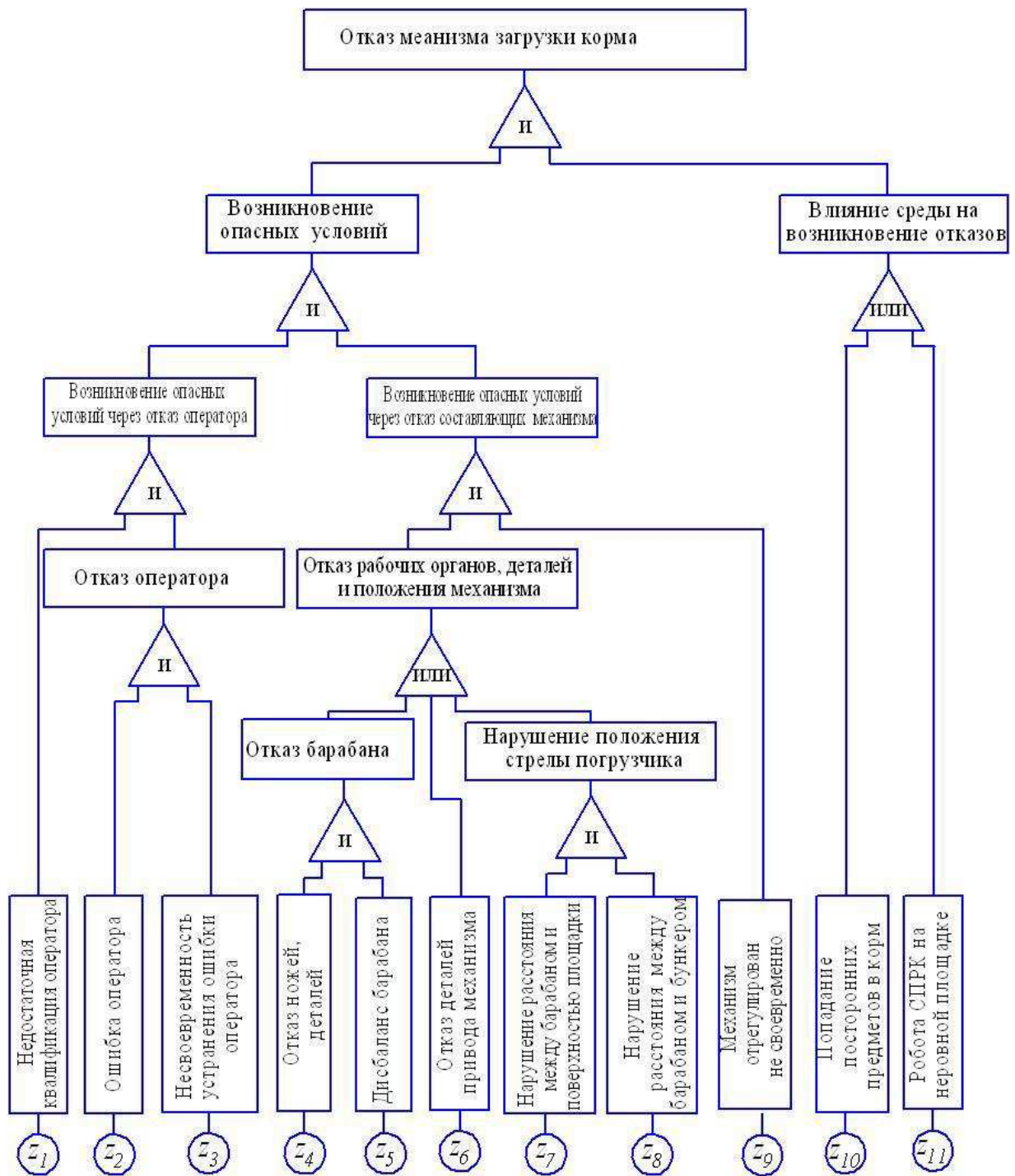


Рис. 1. Модель формирования отказа механизма загрузки системы «ЧМС» СПРК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Anatoliy Boyko. Теоретичні дослідження надійності кукурудозбиральної техніки при використанні резервування / Anatoliy Boyko, Oleksandr Bondarenko, Kostyantyn Dumenko // Motoryzacia i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2011. – Vol. 13A. – С. 131 – 138.

2. Andriy Novitskiy. Аналіз надійності засобів для приготування і роздавання кормів методом дерева відмов/ Andriy Novitskiy, Oleksandr Bannyi // Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin, 2011. – Vol. 13B. – С. 117–123.

3. Бойко А.І. Вплив оператора на надійність систем «людина-машина-середовище» (на прикладі засобів для

- приготування і роздавання кормів) / А.І. Бойко, А.В. Новицький, З.В. Ружи́ло, А.З. Ружи́ло // ХНТУСГ ім. Петра Васи́ленка «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». – Харків, ХНТУСГ, 2011. – Вип. 114. – С. 103–108.
4. Бойко А.І. Дослідження функції готовності механічних систем при накопичуванні пошкоджень / А.І. Бойко, К.М. Думенко // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: збірник наукових праць ДНУ. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2010. – Вип.14. – С. 72–78.
5. Бойко А.І. Стохастичне моделювання роботи пневмомеханічного висівного апарату/ А.І. Бойко, О.О. Банний // Техніка та енергетика АПК: збірник наукових праць НУБіПУ. – К.: НУБіПУ, 2011. – Вип.166. ч.1. – С. 112–118.
6. Бойко А.І., Бондаренко О.В. Дослідження надійності кукурудзозбиральних машин при їх старінні, незмінній базі технічного обслуговування і використанні пасивного резервування / А.І. Бойко, О.В. Бондаренко // КНТУ «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». – Випуск №14, Частина 1. – Кіровоград, 2011. – С.127–193.
7. Бойко А.І., Новицький А.В. Сучасні проблеми забезпечення надійності машин для приготування і роздавання кормів / А.І. Бойко, А.В. Новицький // ХНТУСГ ім. Петра Васи́ленка «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». – Харків., Вісник ХНТУСГ. – Випуск 100. – 2010. – С. 119–126.
8. Ветошкин А.Г. Надёжность технических систем и техногенный риск / А.Г. Ветошкин. – Пенза: ПГУАиС, 2003. – 155 с.
9. Джеральд Сандлер. Техника надёжности систем / С. Джеральд // Серия «Теоретические основы технической кибернетики». – М., 1966. – 300 с.
10. Лехман С.Д. Методологія дослідження небезпечних процесів при функціонуванні ергативних систем аграрного виробництва / С.Д. Лехман, М.В. Панфілова // Техніка та енергетика АПК: збірник наукових праць НУБіПУ. – К.: НУБіПУ, 2011. – Вип. 166, ч. 1. – С. 294–301.
11. Лехман С.Д. Прогнозування небезпечних станів ергативних систем при їх функціонуванні на виробництвах АПК / С.Д. Лехман // Механізація та електрифікація сільського господарства. – К., 2008. – Вип. 92. – С. 509–514.
12. Новицький А.В. Оцінка надійності системи приготування та роздавання кормів «людина-машина-середовище» методом дерева відмов / А.В. Новицький, С.В. Кропивко // Техніка та енергетика АПК: збірник наукових праць НУБіПУ. – К.: НУБіПУ, 2011. – Вип.166. ч.2. – С. 179–186.
13. Острейковский В.А. Теория надёжности: учеб. для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
14. Погорілий Л., Ясенецький В., Лінник М. Сучасна техніка для приготування кормів на фермах ВРХ // Л. Погорілий, В. Ясенецький, М. Лінник // Техніка АПК. – 1999. – №4. – С. 31–33.
15. Посібник. Машини для тваринництва та птахівництва/ За ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. – Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого. – 2009. – 207 с.
16. Ревенко І.І. Шляхи удосконалення агрегатів для приготування і роздавання кормів рогатій худобі / І.І. Ревенко, В.С. Хмельовський, Д.Ю. Белік // Вісник ХНТУСГ: Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві. – Харків, ХНТУСГ, 2010. – Випуск 95. – С. 250 – 258.
17. Роговський І.Л. Вплив показників надійності на періодичність технічного обслуговування сільськогосподарських машин / І.Л. Роговський // Motrol, motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin, 2011. – Vol. 13В. – С. 92 – 97.
18. Рябинин А.И. Логико-вероятностные методы исследования надёжности структурно-сложных систем/ А.И. Рябинин, Г.Н. Черкесов. – М. Радио и связь, 1981. – 264 с.
19. Рябинин А.И. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем/

А.И. Рябинин. – Санкт-Петербург: Политехника, 2000. – 248 с.

20. Смоляр В. Фермерський комбайн – універсальний технічний засіб / В. Смоляр, С. Постельга, Л. Кириченко, Ю. Калітинський // Техніка АПК. – 2007. – №10. – С. 34–35.

21. Хенли Х. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска / Х. Хенли, Х. Кумамото; под ред. В.С. Сыромятникова. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.

LOGICALLY-PROBABILISTIC MODELS OF RELIABILITY OF DIFFICULT MACHINERY

Summary. There are presented methods of forming of logically-probabilistic models of reliability of difficult structural systems in the article. The criteria of minimization of short cuts and minimum sections are offered for increase of reliability of facilities for preparation and distribution of forage.

Key words: reliability, system, logically-probabilistic methods, facilities for preparation and distribution of forage.