

Ю. А. Шамрай, ассистент, **Е. В. Ошовская**, к.т.н., доц.

В. А. Сидоров, д-р техн. наук, проф.

Донецкий национальный технический университет, ДНР

Тел./Факс: +38 (071) 381-74-16; E-mail: joukserin@gmail.com

ЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ХОЛОДИЛЬНИКА СОРТОВОЙ МНЛЗ

В статье выполнен анализ математических и логических моделей, которые взяты за основу для разработки моделей развития повреждений в металлургии для холодильника с шагающими балками сортовой машины непрерывного литья заготовок.

Ключевые слова: холодильник, гидроцилиндры, шагающие балки, заготовка, МНЛЗ.

Yu. A. Shamray, E. V. Oshovskaya, V. A. Sidorov

LOGICAL MODELING OF THE DAMAGE DEVELOPMENT OF THE ELEMENTS OF THE WALKING COOLING BEAM OF A STRATED CCM

The article analyzes the mathematical and logical models that are taken as the basis for developing models for the development of damage in metallurgy for a refrigerator with walking cooling bench of a sectional continuous casting machine.

Keywords: rcooling bench, hydraulic cylinders, walking beams, ingoten, CCM.

1. Введение.

Снижение количества ремонтного персонала, увеличение количества оборудования, участвующего в технологическом процессе, повышение потерь при нарушении непрерывности технологического процесса должно быть компенсировано за счёт использования информационных, риск-ориентированных технологий обслуживания металлургического оборудования [1]. Менеджмент риска, основные положения которого изложены в стандартах [2...8] базируется на исследовании опасности и работоспособности, анализе деревьев неисправностей и анализе надёжности. Однако, в стандартах отсутствует методологическая база необходимая для изучения моделей развития повреждений, которые являются основой при решении задач управления рисками относительно механического оборудования.

Холодильник сортовой машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) находится на заключительной стадии формирования заготовки и испытывает циклические неравномерные тепловые, силовые воздействия. Уровень безотказности данной машины должен обеспечивать непрерывность технологического процесса на протяжении разливки серии заготовок, а ремонтпригодность позволять реализовывать операции по восстановлению работоспособного состояния в короткие периоды технологических пауз. Выполненные ранее исследования [9...12] позволили создать теоретические основы разработки принципов построения методологической базы для разработки моделей развития неисправностей риск-ориентированных стратегий, относительно элементов холодильника сортовой МНЛЗ, что составляет основную цель данной работы.

2. Основная часть.

Модели развития повреждений используются при разработке алгоритма функционирования многоуровневой информационно-управляющей системы ТОиР холодильника сортовой МНЛЗ. При это использовались следующие постулаты:

- элементы холодильника образуют сложную систему включающую: электрическую, гидравлическую, механическую части, систему управления и аэрации;

© Шамрай Ю.А., Ошовская Е.В., Сидоров В.А.; 2022

- функционирование системы обеспечивается динамическим взаимодействием разноресурсных элементов, имеющих различные сроки восстановления работоспособности из-за индивидуальности проявления внешних и внутренних факторов;

- поддержание работоспособного состояния элементов системы проводится с минимизацией затрат на обслуживание и возможных потерь производства при внезапных отказах, что соответствует современной концепции управления риском.

Обеспечение управления рисками при эксплуатации холодильника сортовой МНЛЗ реализуется последовательным решением следующих задач:

- сбор данных о состоянии элементов системы;

- обработка данных с использованием решающих правил;

- применение информации в виде своевременного проведения операций по техническому обслуживанию и ремонту.

В рассматриваемой системе выделяем вопросы, связанные с элементами функционирования механического оборудования, и разрабатываем основные принципы поддержания и восстановления работоспособности данной части. Объединяющим для всех элементов принята система учета и анализа событий (рис. 1).



Рисунок 1. Система учёта и анализа событий

Система учёта и анализа событий решает вопросы, связанные с общим контролем состояния холодильника как сложной системы, выделением наиболее затратного по операциям восстановления элемента и прогнозированием поведения на основе предиктивной аналитики. Сложная система может эффективно выполнять все возложенные на неё функции, если в работоспособном состоянии находятся все её элементы и взаимодействие между ними реализуется в пределах параметров заданных алгоритмов и циклов выполнения отдельных операций. Логические модели данных взаимосвязей, будучи положены в основу решения данной задачи, потребуют разработки надсистемы контроля, что усложняет систему и снижает общий уровень её надёжности для показателей долговечности, безотказности, ремонтпригодности.

Общий контроль за качеством функционирования системы предлагается осуществить на основании анализа стабильности потока событий. Аксиомой является утверждение о том, что всякая сложная системы генерирует при работоспособном состоянии стабильный поток событий, связанных с проведением текущих наблюдений, плановых операций технического обслуживанию, ликвидации незначительных повреждений и др. Реализация данного утверждения на практике требует строго учёта событий, проис-

ходящих внутри работоспособного состояния, а не отказов, как результата нарушения работоспособного состояния. Возможное решение – введение электронных журналов с формализацией вносимых записей по датам, месту расположения элементов и выполняемым функциям.

Условием работоспособного состояния системы является:

$$C_{об} = C_3 + C_2 + C_m + C_y + C_a = const,$$

при выполнении следующих условий:

$$C_3 = const, C_2 = const, C_m = const, C_y = const, C_a = const,$$

где $C_{об}$ – общее число событий за период; C_3 – число событий по электрической части; C_2 – число событий по гидравлической части; C_m – число событий по механической части; C_y – число событий по системе управления; C_a – число событий по системе аэрации.

Каждая из частей системы имеет свой уровень надёжности, который может меняться по мере освоения оборудования, физического и морального старения, квалификации персонала, форм организации и др. Соответственно и число событий будет разным, но стабильным в случае работоспособного состояния. Отказ системы аэрации в данном случае не критичен для функционирования всей системы, однако приводит к нарушению параметров технологического процесса.

Анализ стабильности событий приводит к возможности выявления отклонений, предполагая, что отказу может предшествовать как увеличение, так и уменьшение числа событий. Необходимым является локализация мест событий на универсальной карте холодильника. Локализация событий возле одного объекта является признаком возможного отказа.

Для управления рисками при эксплуатации сложной системы необходима информация об её состояниях и протекающих в ней процессах [13]. Часть такой информации возможно получить с помощью средств и систем автоматики, контроля, диагностики, с последующим дополнением, уточнением информацией, получаемой в процессе математического моделирования.

Контроль электрической части системы проводится на основе периодических проверок и осмотров. Наиболее часто неисправности электрической части предваряют нарушения контактов, повышение температуры отдельных деталей. Наряду с контролем электрических величин устанавливаются системы защиты: максимальная токовая и тепловая защита; дифференциальная защита от замыканий на землю; защита от максимального и минимального напряжения и др. Относительно механической части электромеханических систем – подшипников двигателей, задача контроля решается анализом шумов механизма, измерением и контролем параметров вибрации и температуры с допустимыми значениями. Наличие в резерве насосной установки, позволяет обеспечить непрерывность работы даже при отказе во время разлива. Но ликвидация последствий в этом случае приводит к большим затратам.

Относительно электрического оборудования рациональным является своевременное проведение планово-профилактических работ и ремонты по состоянию после плановых проверок. Особое внимание, в условиях металлургического производства, следует обращать на воздействие окружающей среды и наличие металлической пыли в атмосфере сталеплавильного производства.

Аксиомами работоспособного состояния электрической части являются: допустимые значения электрических величин – тока, напряжения, сопротивления, ёмкости, индуктивности; допустимые значения температуры узлов; сохранение целостности и взаимного расположения деталей.

Система управления обеспечивает последовательное выполнение заданных функций элементами системы взаимодействуя одновременно с электрической, гидравлической и механическими частями. Возможности контроля данной системы полностью не используются и могут быть значительно расширены. В настоящее время существует возможность контроля времени отдельных циклов шагания, одновременно с контролем положения элементов. Сравнение заданных и фактических периодов работы гидроцилиндров, определение параметров отклонений позволяет контролировать общее состояние и тенденции в работе цилиндров вертикального подъёма:

$$\Delta t = t_{\text{заданное}} - t_{\text{фактическое}}$$

Цикл движения холодильника включает: движение вверх, движение вперед, торможение, период колебаний, движение вниз, движение назад, торможение, возвращение в исходную позицию (рис. 2). Движение холодильника в горизонтальном направлении фиксируется инкодерами линейного перемещения (правой и левой стороны, общего перемещения). Диаграммы перемещения позволяют отслеживать значение, скорость перемещения и стабильность работы гидроцилиндров. В тоже время этот контроль может быть периодическим в период настройки и эксплуатации. Необходима разработка и установка экспертной системы перемещения гидроцилиндров для постоянного контроля и оценки состояния гидроцилиндров перемещения.

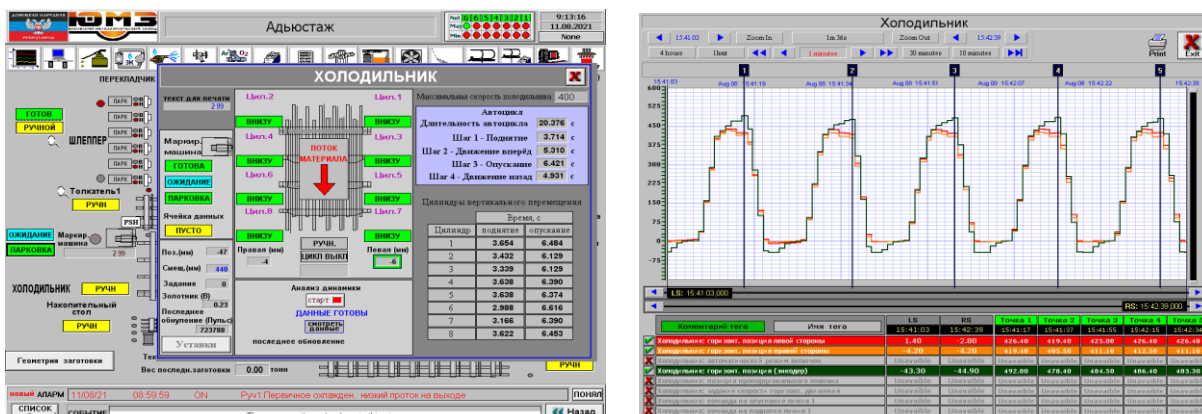


Рисунок 2. Параметры движения гидроцилиндров вертикального (а) и горизонтального (б) перемещения, фиксируемые системой управления

Необходимым представляется система контроля траектории движения элементов холодильника на основе видеоизображения и компьютерной технологии выделения элементов движения. Сравнение каждого цикла шагания, зафиксированного с каждой стороны холодильника, их взаимное сравнение по фазам движения и сравнение с эталонной траекторией позволяет получить комплексный диагностический показатель состояния. Наличие каталога возможных отклонений (рис. 3), предоставляет возможность определения причину повреждения.

Гидравлическая система находится в работоспособном состоянии в том случае если значения: гидравлических величин (давления, расхода, перепада давления, скорости потока) и температуры узлов не превышают допустимых уровней. Предполагается, что к части элементов гидравлической системы применимы аксиомы механической системы. Наиболее эффективным при определении состояния гидравлической системы является логический метод последовательных проверок (не рассматриваемый в данной работе), включающих определение параметров и направления движения потока, контроль последовательности работы отдельных элементов, оценку внутренних и внешних утечек и др. Эти проверки формируют комплекс диагностических операций при функциональном и тестовом диагностировании.

Наиболее показательным параметром гидравлического привода является объёмный *к.п.д.* - отношение фактической подачи насоса при номинальном давлении к теоретической подаче. Объёмный *к.п.д.* наряду с механическим *к.п.д.* определяет общий *к.п.д.* гидравлической системы [14.]:

$$\eta = \frac{F \times v}{p \times Q},$$

где η - общий *к.п.д.* гидравлической системы; F – усилие на штоке гидроцилиндра; v – скорость перемещения; p – давление в системе; Q – подача насоса.

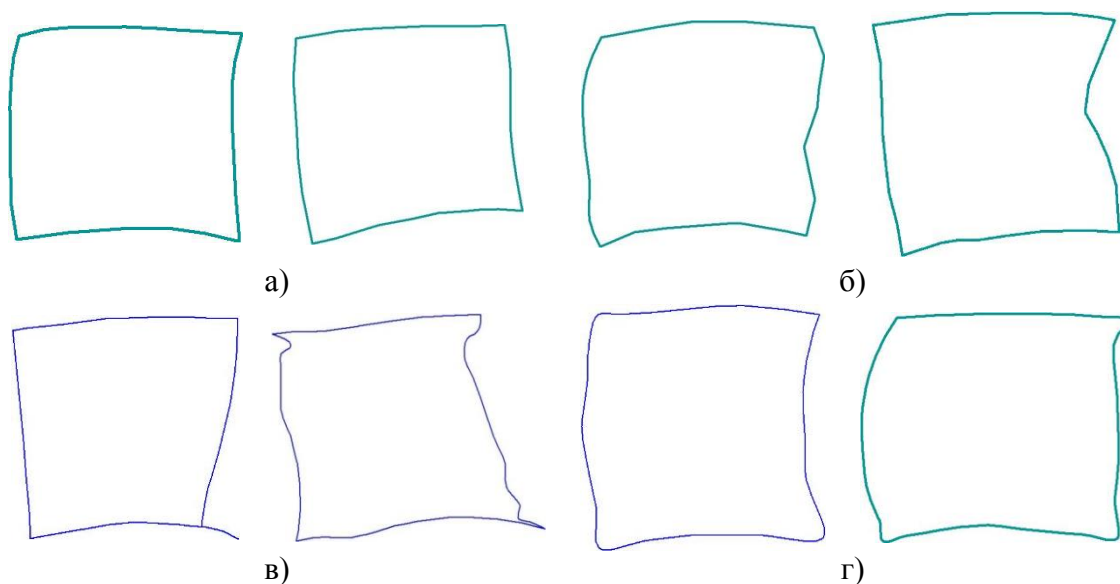


Рисунок 3. Каталог отклонения от «эталонных» траекторий движения точек подвижной балки: а) синхронная работа гидроцилиндров; б) гидроцилиндры вертикального перемещения в соседних секциях работают не синхронно (правая сторона запаздывает); в) гидроцилиндры горизонтального перемещения в соседних секциях работают несинхронно (левая сторона запаздывает); г) гидроцилиндры вертикального перемещения в одной секциях работают не синхронно (задняя пара запаздывает от задней пары).

Если рассматривается работа комплекса исполнительных механизмов и нескольких насосов:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} F_i \times v_i}{\sum_{j=1}^{j=m} p_j \times Q_j},$$

где n – количество i -х исполнительных механизмов; m – количество j -х насосов.

Каждый из i -х исполнительных механизмов совершает определённые операции на протяжении технологического цикла используя гидравлическую энергию, накопленную в гидравлических аккумуляторах. Для восполнения затрат энергии происходит периодическое включение насосов в режим рабочего хода. Таким образом, время рабочего хода насосов может служить эквивалентом эффективности работы гидравлической системы. Достоверность данного показателя определяется длительностью выбранного технологического цикла. Слишком короткий цикл не позволит выявить возможные отклонения, слишком длинный – приведёт к усреднению и потере точности. Следует учесть влияние на показатель всех эксплуатационных факторов: изменение действующих сил и сил сопротивления, внутренние и внешние утечки, тепловые поля, виды механического износа, что делает его универсальным показателем общего технического состояния системы.

Для холодильника своеобразным эквивалентом объёмного КПД будет отношение объёма перемещаемой жидкости при циклах шагания за тестовый период (1 час) к объёму жидкости, подаваемой насосами при номинальных значениях, за суммарное время включений насосов в рабочий режим в течении 1-го часа.

Косвенным показателем объёмного КПД является время выполнения тестовой операции, например, выдвигание штока гидравлического цилиндра:

$$\eta = f\left(\frac{T_{\text{факт}}}{T_{\text{эталон}}}\right),$$

где $T_{\text{факт}}$ – фактическое время срабатывания, $T_{\text{эталон}}$ – время срабатывания при начальном состоянии, принимаемом за эталон.

В случае возникновения неисправностей возможно резкое, ступенчатое изменение объёмного КПД, например, при разрушении уплотнений, появлении задиров на гильзе гидроцилиндра и др. причинах возникновения внутренних утечек. Использование относительной оценки - определения зависимостей результатов измерения от времени, прослеживается тенденция развития, экстраполяция которой позволяет определить время ремонта.

Увеличение выборки обследуемых машин повышает вероятность охвата всех возможных технических состояний. Это позволяет определить абсолютные (стандартные) границы состояний объектов. Относительно объёмного КПД в настоящее время отсутствуют стандарты его регламентирующие и методология оценки в процессе эксплуатации. Дополнительные данные можно получить при анализе изменения давления при подъёме и опускании, движении в горизонтальной плоскости в полостях гидравлических цилиндров. Для этого следует установить датчики давления в гидравлические линии и передать данные в систему контроля. Для оценки технического состояния могут быть использованы методы взаимной, относительной и абсолютной оценки.

Механическая система, являясь основным предметом изучения в данной работе, предполагая применение риск-ориентированной стратегии ремонта базируется на:

- рекомендациях стандартов управления рисками или риск-менеджмента;
- аксиомах работоспособного состояния механического оборудования;
- перечне внешних воздействий на детали металлургических машин;
- диагностической матрице технического состояния сопрягаемых элементов;
- ограниченном комплексе операций по техническому обслуживанию и ремонту.

Процессы физического старения деталей металлургических машин, являются следствием внешних, эксплуатационных, воздействий, которые могут быть представлены в виде матрицы, представленной в таблице 1. Возможные неисправности механиче-

ской части связаны с нарушением: неподвижности сопрягаемых деталей, режима смазывания, взаимного расположения деталей, равномерности приложения сил, накоплением усталостных повреждений. Внутренние факторы, обеспечивающие работоспособное состояние сопрягаемых узлов механического оборудования, также могут быть представлены матрицей, объединяющей факторы (состояние неподвижных соединений; вид трения; взаимное расположение деталей; характер распределение сил; накопление усталостных повреждений) и уровни факторов - исправного состояния, малых отклонений, необходимости проведения ремонтных воздействий и предотказный. Уровни факторов, отражающие изменение физических основ процесса износа, определяют границы уровней, разделяя границы естественного и патологического старения (таблица 2).

Таблица 1. Виды эксплуатационных воздействий на детали машин

Силовое А	Температурное Т	Окружающей среды К	Трение Ф	Техническое обслуживание В
Статическое А1	Длительное Т1	Атмосферное К1	Жидкостное Ф1	Плановое В1
Динамическое А2	Кратковременное Т2	Газовое К2	Граничное Ф2	Сокращённое В2
Постоянное А3	Циклическое Т3	Жидкостное К3	Сухое Ф3	Качественное В3
Переменное А4	Постепенное Т4	Комбинированное К4	Скольжения Ф4
Циклическое А5	Тепловой удар Т5	Пылевое К5	Качения Ф5	
.....	

Виды технического обслуживания: осмотр – О; очистка – Ч; защита от коррозии –З; смазка – С; затяжка резьбовых соединений – Б.

Виды ремонтных операций: регулировка – Е; замена – М; восстановление – С.

Практическая реализация риск-ориентированных стратегий требует повышения информативности при принятии решений ремонтной службой. Необходимым при этом является вопрос определения возможностей использования имеющихся данных, несобранных и несистематизированных. Сбор и накопление данных без определённой цели, последующая формальная обработка, не приводят к результату.

Оптимальное решение при анализе данных возможно после формирования комплекса типовых моделей развития повреждений, основанных на общетехнических закономерностях. Моделирование неисправностей начинается с разработки математических моделей: траектории движения подвижных балок холодильника и заготовки; кинематических параметров движения подвижных балок; процесса кантовки заготовки; распределения температурных полей холодильника; температурных деформаций и напряжений холодильника; прогибов реек и балок холодильника; силового нагружения гидроцилиндров; прочности основных элементов; развития повреждений и потери работоспособности и др.

Принятие решений для проведения операций по техническому обслуживанию и ремонту определяется набором логических правил.

Таблица 2. Диагностическая матрица работоспособности механизма

Уровни состояния	Факторы работоспособности			
	Состояние	Вид трения	Характер	Взаимное

	неподвижных соединений Н	В	распределение сил Р	расположение деталей Д	усталостных повреждений У
Исправное состояние	Н1	Жидкостное В1	Р1	Д1	У1
Малые отклонения	Н2	Граничное В2	Р2	Д2	У2
Проведение ремонтных воздействий	Н3	Сухое В3	Р3	Д3.	У3
Предотказный	Н4	Схватывание В4	Р4	Д4	У4

Например, одним из наиболее длительных видов ремонта холодильника является внеплановая замена гидроцилиндра горизонтального перемещения. Внезапный отказ, в этом случае, предваряет сбой в цикле шагания, вплоть до полной остановки. Виды повреждений, связаны с разрушением болтов, крепящих кронштейны опор гидроцилиндров и износ резьбовой части штока, показанных на рисунке 4.

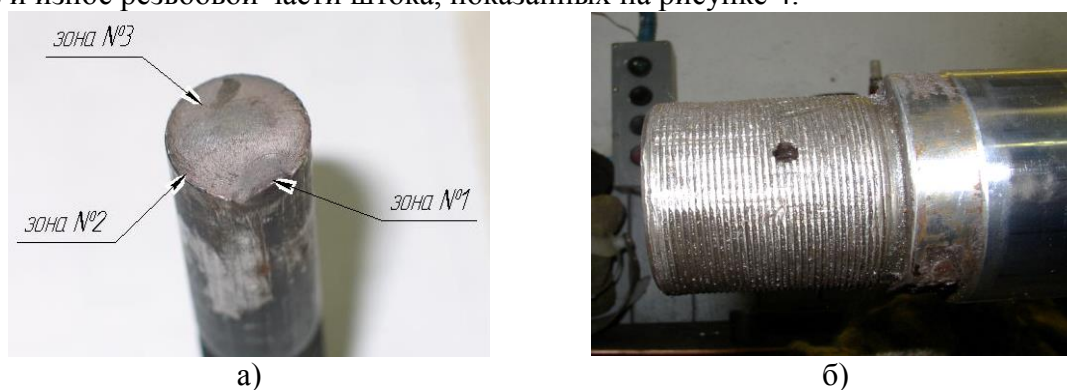


Рисунок 4. Повреждения элементов гидроцилиндров горизонтального перемещения: а) поверхность усталостного излома одного из болтов; б) резьбовая часть штока гидроцилиндра

Поверхность хрупкого излома болта является следствием накопления усталостных повреждений и включает три зоны. В первой зоне трещина распространяется медленно, и поверхность излома выглядит как полированная и окисленная. Во второй зоне трещина распространяется с большей скоростью, поверхность излома мелкозернистая. В третьей зоне поверхность излома, волокнистая, соответствующая статическому разрушению. Чётко видна зона усталостного развития трещины, по обе стороны от которой вдоль периферии расположена вторая зона с бороздами, указывающими направление распространения трещины. Зона долома занимает примерно половину площади поверхности излома. Также на боковой поверхности болта видны задиры, то есть эта поверхность контактировала с другой поверхностью.

Основные действующие силы – растягивающие. Дополнительно следует указать на действие поперечных сил - задиры на боковой поверхности болта. Степень нагруженности – невысокая, зона долома занимает порядка половины сечения болта.

Поверхность профиля резьбы штока гидроцилиндра (рис. 4б) изношена в направлении действия растягивающих сил, действующих на резьбу при втягивании штока цилиндра во время движения балок холодильника в начальное положение. Этот факт говорит о действии циклических растягивающих усилий. Такие усилия могут действовать также и при несинхронной работе гидроцилиндров.

Задача, исключения подобных отказов, решается путём более раннего обнаружения признаков нарушения неподвижности сопрягаемых деталей – на уровне H2, который характеризуется начальной стадией раскрытия стыка и обнаруживается при помощи визуального осмотра O, проводимого с определённой периодичностью, определяемой действием силовых факторов (A1, A2, A3, A4, A5), вкладом каждого из факторов и тепловым воздействием (T1, T3, T4). Это представляется логическим высказыванием:

$$O \rightarrow H2 [(A1, A2, A3, A4, A5) \vee (T1, T3, T4)].$$

Осмотр определяет раскрытие стыка в соединении балок и кронштейна крепления механизма, возникающее под действием циклических статических сил, малых ударных воздействие при кантовке, периодических изменении значений при окончании серии и тепловых воздействий - стационарных при разливке и циклических при окончании серии и различных для места расположения гидроцилиндра. В силовых нагрузках необходимо учесть влияние плит трения. Знание фактически действующих сил и тепловой нагрузки позволяет рассчитать циклы нагружения, необходимые для раскрытия стыка и увеличив показатель B3 предупредить развитие повреждения на ранней стадии проведением затяжки резьбовых соединений Б в период плановой остановки.

Модель развития повреждения, в данном случае, может быть представлена алгоритмом, показанном на рисунке 5. Аналогично, создаётся модель развития повреждения при ослаблении крепления фланцевого соединения трубопровода рабочей жидкости. Эти отказы происходят относительно редко, но приводят к большим потерям при ликвидации последствий возгорания рабочей жидкости. Отличие связано с характером действия вибрационных нагрузок, возникающих в трубопроводе при рабочем ходе. Колебания с размахом виброускорения 30,0...60,0 м/с² были зафиксированы при проведении экспериментальных исследований.

Высокая температура рабочей жидкости увеличивает риск износа гидроцилиндров. Температура элементов гидравлического привода определяет вязкость рабочей жидкости и возможность обеспечения режима жидкостного трения в зоне контакта деталей. Если температура повышается, то уменьшается вязкость рабочей жидкости. При определённых условиях, возникнет повышенное трение между деталями и повышение скорости износа, вплоть до схватывания. Поэтому, знание фактической температуры нагрева гидроцилиндров в процессе эксплуатации позволяет получить исходные данные для выбора характеристик рабочей жидкости и модели старения рабочей жидкости, что определит сроки её замены. Это было учтено при разработке планов осмотров и технического ремонта, а также при расчёте времени выхода из строя деталей, что позволило обеспечить стабильную работу гидроцилиндров холодильника с шагающими балками сортовой МНЛЗ.

3. Выводы.

1. Логическая модель развития повреждений формируется относительно следующих элементов: элемента оборудования, действующих сил и тепловых потоков, закономерностей развития неисправности, признаков повреждения и раннего обнаружения с учётом возможных последствий отказа и влияния на работоспособность системы.

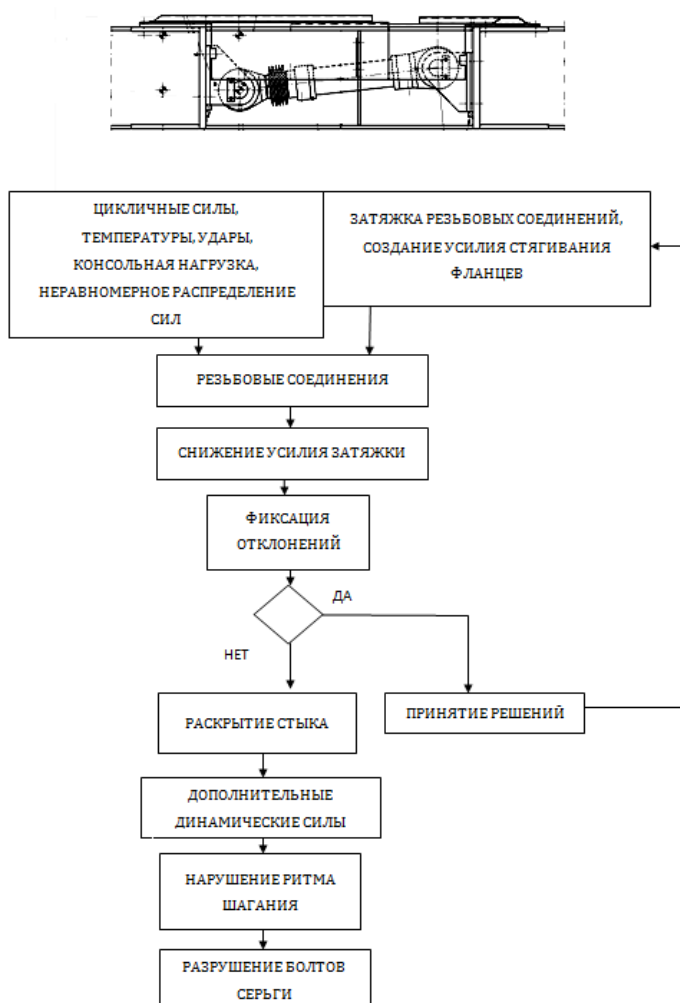


Рисунок 5. Модель развития повреждений при ослаблении болтов крепления кронштейна гидроцилиндра горизонтального перемещения

2. Совокупность моделей развития повреждений составляет основу создания цифрового двойника системы, на котором отрабатывается эффективность предлагаемых технических решений по поддержанию или восстановлению работоспособного состояния.

3. Обобщение результатов логического моделирования предполагается осуществить в виде комплекса взаимодополняющих утверждений и зависимостей для поиска, предполагаемого элемента с минимальным запасом прочности, ресурса в рамках информационно-управляющей системы ремонтной службы с постоянным или периодическим дополнением данных осмотров и диагностирования, для получения обратной связи и оптимизации ремонтных действий.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 27.606-2013. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность. [Текст]. – Введ. 2014-06-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 34 с.
2. ГОСТ Р 51901. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. [Текст]. – Введ. 2003-03-01. – М.: Стандартинформ, 2003. – 24 с.

3. ГОСТ Р 51901.1. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. [Текст]. – Введ. 01-04-2003. – М.: Стандартинформ, 2003. – 36 с.
4. ГОСТ Р 51901.5. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. [Текст]. – Введ. 2005-01-02. – М.: Стандартинформ. – 2005. – 45 с.
5. ГОСТ Р 51901.11. Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство. [Текст]. – Введ. 2005-01-06. – М.: Стандартинформ, 2005. – 42 с.
6. ГОСТ Р 51901.13. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей. [Текст]. – Введ. 2005-01-06. – М.: Стандартинформ, 2005. – 12 с.
7. ГОСТ Р 51901.14. Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности. [Текст]. – Введ. 2005-01-07. – М.: Стандартинформ, 2005. – 18 с.
8. ГОСТ Р 51901.15. Менеджмент риска. Применение марковских процессов [Текст]. – Введ. 2005-01-06. – М.: Стандартинформ, 2005. – 18 с.
9. Шамрай, Ю. А. Математическая модель для определения траекторий движения контрольных точек холодильника МНЛЗ / В. А. Сидоров, Е. В. Ошовская, Ю. А. Шамрай // Технологические машины и оборудование: материалы XVI Республиканской научно-технической студенческой конференции, 28-30 ноября 2017г., Донецк. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – С. 28 – 37.
10. Шамрай, Ю. А. Разработка математического описания для расчета траектории движения подвижных балок холодильника МНЛЗ / В. А. Сидоров, Е. В. Ошовская, Ю. А. Шамрай // Донбасс будущего глазами молодых ученых, г. Донецк, 21 ноября 2017 г. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – С. 82 - 88
11. Шамрай, Ю. А. Построение алгоритма диагностирования гидропривода холодильника МНЛЗ / В. А. Сидоров, Е. В. Ошовская, Ю. А. Шамрай // Инновационные перспективы Донбасса, г. Донецк, 22-25 мая 2018 г. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Т. 3. – С. 177 – 181.
12. Шамрай, Ю. А. Разработка алгоритма посредством анализа событий из записей в агрегатном журнале / В. А. Сидоров, Е. В. Ошовская, Ю. А. Шамрай // Сборник статей с конференции «Донбасс глазами молодых ученых» г. Донецк. 24.11.2020. – С. 6-9.
13. Кац, Б. А. Управление производственными активами с помощью современных информационных технологий / Б.А. Кац, А.Ю. Молчанов // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 8. – С. 39–45.
14. Костюничев, Д. Н. Основы расчёта объёмного гидропривода: метод. пособие для студ. оч. и заоч. обучения специальности 190602 «Эксплуатация перегрузочного оборудования портов и транспортных терминалов» / Д. Н. Костюничев, И. В. Никитаев, Е. В. Цветкова. – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2011. – 96 с

Поступила в редколлегию 14.02.2022 г.