

*А.Г. Дивин, Г.В. Мозгова, А.С. Давлатова,
Д.А. Дивина, И.С. Сынков*

ПРИМЕНЕНИЕ FMEA-АНАЛИЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ СДВИГОВОМ ТЕЧЕНИИ

Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов (Potential Failure Mode and Effects Analysis, или – метод FMEA) – это эффективный инструмент повышения качества разрабатываемых технических объектов, направленный на предотвращение дефектов или снижение негативных последствий от них [1]. Метод может быть также использован для доработки и улучшения конструкций и процессов, запущенных в производство. В настоящей работе предлагается использование данного метода с целью доработки конструкции измерительного устройства, предназначенного для определения теплопроводности и реологических характеристик неньютоновских жидких материалов при сдвиговом течении [2], с целью управления качеством процесса измерения.

На этапе доработки конструкции измерительного устройства и преобразователей, входящих в состав измерительной установки, с применением метода FMEA решались следующие задачи:

- определение «слабых» мест конструкции измерительного устройства и других блоков; принятие мер по их устранению;
- получение сведений о риске отказов предложенного и альтернативных вариантов конструкции;
- доработка конструкции до наиболее приемлемой с различных точек зрения: технологичности, удобства обслуживания, надежности и т.д.

Для решения этих задач была привлечена группа из четырех участников, имеющих опыт работы с теплофизическим оборудованием и средствами измерения, а также владеющими инструментами управления качеством.

В ходе обсуждения и анализа опыта использования измерительной установки были выявлены уже возникшие и потенциально возможные дефекты измерительного устройства, методики выполнения измерения и произведена оценка их последствий. К таким дефектам были отнесены: 1) колебания напряжения разбаланса мостовой измерительной схемы; 2) нарушение герметичности подводных шлангов; 3) вибрация измерительного устройства при высоких скоростях вращения наружного цилиндра; 4) перегрев электродвигателя постоянного тока; 5) попадание исследуемого материала в подшипники; 6) нарушение баланса при вращении крыльчатки центробежного насоса термостата в системе нагнетания теплоносителя в охлаждающую рубашку. Для выявленных дефектов определены причины, произведена оценка последствий и рассчитано значение приоритетного числа рисков (ПЧР).

Значение критической границы ПЧР было выбрано равным 100 в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 51814.2–2001 и с целью обеспечения надежности работы измерительной установки.

По итогам анализа, одним из наиболее значимых дефектов процесса измерения было признано колебание напряжения разбаланса мостовой измерительной схемы, что приводило к изменению рассчитываемой температуры нагревателя. Размах колебаний измеренной температуры нагревателя может достигать 0,2 °С в течение одного часа. Учитывая, что длительность активной стадии теплофизического эксперимента может достигать 40...60 мин и минимальный перепад между конечной и начальной среднеинтегральной температурой нагревателя может быть 1,8 °С, последствием этого дефекта является превышение предела допустимой основной погрешности измерения теплопроводности, что соответствует баллу значимости S , равному 10.

Причины данного дефекта, по мнению экспертов, заключаются в следующем:

1) колебание температуры теплоносителя в охлаждающей рубашке наружного цилиндра вследствие несовершенства закона регулирования температуры теплоносителя в ванне термостата; в используемом термостате типа СЖМЛ погрешность регулирования температуры достигала $\pm 0,15$ °С; техническое состояние термостата было неудовлетворительным, паспортным данным он не соответствовал; по результатам экспертной оценки этой причине был присвоен балл возникновения O , равный 8, а балл обнаружения D , равный 4;

2) колебание сопротивлений плеч мостовой измерительной схемы; все сопротивления моста были выполнены из константана – материала с малым температурным коэффициентом сопротивления, однако изменение температуры окружающего воздуха на 3...5 °С могло вызвать значительные колебания напряжения мостовой измерительной схемы; в силу этого данной причине был присвоен балл возникновения O , равный 8, а балл обнаружения D , равный 3.

Таким образом, значение приоритетного числа рисков для каждой причины составило соответственно 320 и 240, что значительно превышает критическую границу.

Были предложены технические решения, позволившие значительно снизить значения ПЧР дефектов измерительного устройства и установки в целом, повысить качество процесса измерения реологических и теплофизических характеристик неньютоновских жидкостей.

Вместо морально и физически устаревшего жидкостного термостата типа СЖМЛ было решено закупить современный термостат

VT-14-02 с микропроцессорным управлением и ПИД регулированием, позволяющим поддерживать в установившемся режиме температуру теплоносителя с точностью до $\pm 0,05$ °С. Предложено также блок мостовой измерительной схемы поместить в корпус с теплоизоляцией, что существенно снижает амплитуду колебаний температуры внутри блока и температуры резисторов.

Предложенные меры позволяют снизить значение ПЧР выявленных причин до 40 и 60 баллов, соответственно, что значительно меньше установленной критической границы. Это позволило снизить относительную погрешность измерения теплопроводности исследуемых жидкостей до 7 %.

1. ГОСТ Р 51814.2–2001. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. – М. : ИПК «Издательство стандартов», 2001. – 17 с.

2. Метод, устройство и автоматизированная система для исследования зависимости теплофизических свойств жидкостей от скорости сдвига / С.В. Мищенко, С.В. Пономарев, А.Г. Дивин, Г.В. Мозгова, С.В. Ходилин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2005. – № 1. – С. 14 – 22.

Кафедра «Автоматизированные системы и приборы»