

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВС

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в исследованиях и конструировании турбокомпрессоров для наддува двигателей внутреннего сгорания [1, 2], в эксплуатации встречается большое количество случаев неисправностей и отказов, вызванных как самой эксплуатацией, так и ошибками в обслуживании двигателя, а иногда и производственными дефектами [3]. То есть, даже при значительных усилиях, направленных на исследования и разработки новых конструкций, современные турбокомпрессоры наддува ДВС не получаются на 100% надежными, и в них в зависимости от различных условий эксплуатации возникают неисправности и отказы, для эффективного устранения которых требуется правильное определение их причин.

Однако анализ источников [4, 5, 6] показывает, что несмотря на успехи в исследованиях и конструировании, так и не были созданы надежные методики, позволяющие с необходимой для практики достоверностью находить причину неисправности (отказа) турбокомпрессоров. Действительно, источников по определению причин неисправностей турбокомпрессоров мало, а информация в них далеко не всегда способна помочь потребителю или ремонтной организации. Существующие методики определения причин неисправностей [5, 6] обычно дают при схожести признаков десятки возможных причин, вследствие чего их использование на практике требует настолько большой трудоемкости, что фактически неэффективно, в результате чего в эксплуатации потребители во многих случаях затрудняются определить причину возникшей неисправности.

Проблема правильного определения причины неисправности дополнительно осложняется не только комплексным влиянием систем и узлов двигателя на работу турбокомпрессора, но также и чрезвычайно быстрым развитием любого начального повреждения. Так, при типичной для современных турбокомпрессоров автомобильных двигателей частоте вращения ротора, достигающей 200000 об/мин и более, многоцикловая усталость, характеризуемая количеством циклов более 10^5 - 10^6 , может наступить уже через несколько секунд после повреждения, вызывающего появление дополнительных нештатных нагрузок на детали. В результате у потребителя даже нет возможности вовремя диагностировать признаки отклонений от нормальной работы турбокомпрессора - слишком быстро наступает отказ. В то же время высокие скорости вращения вызывают такие значительные повреждения деталей [3, 6, 7], что точное определение причины неисправности после отказа во многих случаях сильно затруднено.

Учитывая такие сложности, многие потребители и сервисные организации предпочитают не тратить время и силы на выяснение причин отказа, а просто менять турбокомпрессор на новый [3]. Однако такой подход нередко приводит к повторному входу из строя, если причина неисправности не была связана с самим турбокомпрессором, а вызывалась внешними причинами, например, неисправностью двигателя и его систем. В результате затраты на ремонт транспортного средства могут значительно, иногда даже кратно, возрасти, причем эта проблема приобретает все большую остроту по мере все более широкого распространения турбонаддува в двигателях различных транспортных средств, а также все большего усложнения конструкции и удорожания турбокомпрессоров [1, 3].

В данной работе предпринята попытка найти решение проблемы определения причины неисправности турбокомпрессоров с использованием логико-вероятностных методов. Действительно, при оценке надежности различных агрегатов широко используются модели, описывающие причинно-следственные связи отказов всей системы с отказами отдельных элементов и другими событиями (воздействиями), в том числе, так называемый метод анализа дерева отказов [8, 9]. Однако в чистом виде данный метод, применяемый на практике для расчетов вероятностных характеристик надежности и рисков отказов, не вполне соответствует задачам поиска причин неисправностей. Дело в том, что принятое в расчетах надежности направление анализа - от базовых событий, инициирующих отказ, к событию отказа, прямо противоположно направлению анализа в случае, если причина отказа заранее неизвестна.

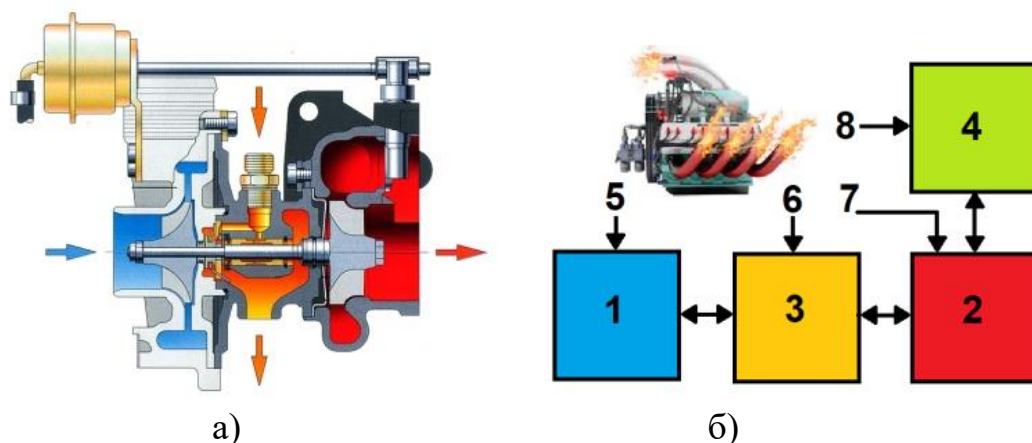


Рисунок 1. Турбокомпрессор (а) и его блок-схема (б):

1 - компрессор, 2 - турбина, 3 - подшипниковый узел, 4 - система управления (клапан перепускной заслонки, турбина с регулируемым сопловым аппаратом или другое, с приводным механизмом и блоком управления), внешние воздействия на турбонагнетатель (от двигателя внутреннего сгорания), в том числе: 5 - впускная система ДВС, 6 - масляная система и картер ДВС, 7 - цилиндры ДВС и выпускной коллектор, 8 - система управления двигателем.

Учитывая это, была предпринята попытка разработать сравнительно простую методику определения причин неисправностей турбокомпрессоров наддува ДВС, опираясь, с одной стороны, на имеющийся опыт их эксплуатации и ремонта [3-7], а с другой - на метод анализа дерева отказов [8, 9]. С этой целью турбокомпрессор вначале был условно разделен на блоки (рис.1), позволяющие учесть не только их взаимное влияние друг на друга, но и выявить воздействие различных узлов и систем ДВС на турбокомпрессор.

Далее было составлено достаточно полное описание большинства известных видов отказов и их причин, а также соответствующих им признаков, имеющих на основных деталях турбокомпрессора, по 4-м выделенным узлам - компрессору, турбине, подшипниковому узлу и системе управления. Данная работа производилась на основании имеющегося в настоящее время опыта исследования причин отказов турбокомпрессоров, накопленного различными организациями [3-7].

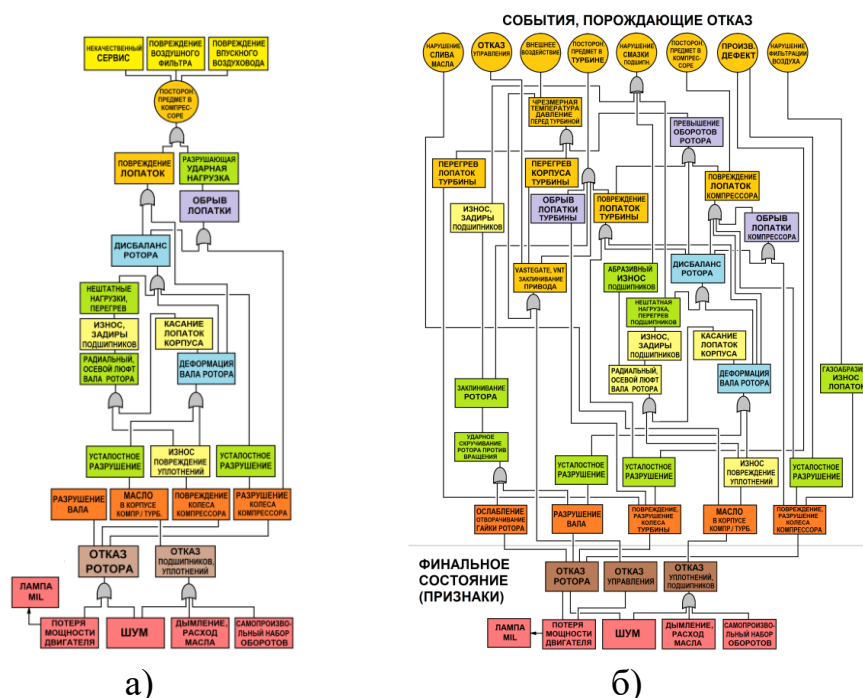


Рисунок 2. Модифицированное обратное дерево отказов предполагает направление анализа от отказа к базовым событиям, что значительно упрощает логическую схему, делая ее вполне пригодной для практики: а) дерево для одного вида отказа - попадания постороннего предмета в компрессор, б) дерево отказов всего турбокомпрессора.

На основании проведенного анализа причинно-следственных связей было выполнено пробное построение стандартного дерева отказов турбокомпрессора только для одной причины отказа - попадания постороннего предмета в компрессор. При этом выяснилось, что стандартное дерево отказов чрезмерно громоздко и фактически не может быть использовано для практических задач определения причин неисправности. Тем не менее, в процессе адаптации метода к задачам поиска причин неисправностей было установлено, что определение причины неисправности может быть выполнено на основе анализа

модифицированного дерева отказов, позволяющего выполнять анализ в обратном по отношению к общепринятому направлении – от события отказа всей системы к базовым событиям, инициирующим отказ в отдельных ее элементах. Такой подход позволил значительно упростить логическую схему, сделав ее для рассматриваемого вида отказа вполне наглядной и логичной для практического использования (рис.2а).

После развития указанного принципа на все основные виды отказов было получено модифицированное обратное дерево отказов турбокомпрессора (рис.2б). Оно фактически устанавливает связь между основными признаками отказа, видимыми потребителем, и начальными (базовыми) событиями, вызывающими отказ, которые могут быть установлены при исследовании причины неисправности перед заменой турбокомпрессора.

Проверка предлагаемой методики, построенной на указанных принципах с привлечением имеющегося опыта исследования неисправностей турбокомпрессоров, на реальных случаях отказов показала, что определение причины отказа может быть сделано с достаточной для практики достоверностью при минимальных затратах времени даже при невысокой квалификации исполнителя. Это позволяет рассматривать предлагаемый подход к задачам поиска причин неисправностей, включая разработанную методику, как возможное перспективное направление в определении причин неисправностей не только агрегатов, но и двигателей в целом.

Литература

1. Галеркин Ю.Б., Козаченко Л.И. Турбокомпрессоры. СПб, Изд-во Политехнического Университета, 2008. - 374 с.
2. Giakoumis E.G. Turbochargers and Turbocharging: Advancements, Applications and Research. Nova Science Publishers, New York, 2017. - 550p.
3. Самохин С., Ермоленко И. Вскрытие показало. Ч.1-8, АБС-авто, №№8,10 2015, №№2,4,6,8,10 2016, №2,3 2017.
4. Turbocharger: Damage Profiles, Causes, and Prevention. Technical information MO-2-613. MAHLE Clevite Inc., MI 48108, United States, 2008. - 16p.
5. MAHLE Turbocharger Catalogue. Technical Service. Catalog No.TC-10-14, Supersedes TC-10-11, Mahle GmbH, 2015. - 56p.
6. Miller J. Turbo: Real World High-Performance Turbocharger Systems (S-A Design) Paperback, CarTech, 2008. - 160p.
7. Quanungo M.N., etc. Failure Analysis of Turbocharger. 4th International Conference on Multidisciplinary Research & Practice (4ICMRP-2017), pp.214-219.
8. Шубин Р.А. Надёжность технических систем и техногенный риск. - Тамбов, Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. - 80с.
9. Laskowski R. Fault Tree Analysis as a tool for modeling the marine main engine reliability structure. Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin. 2015, 41 (113), p.71–77.