

## ПРОБЛЕМА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕТЫРЁХТАКТНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*Ананьев Г.Е.<sup>1</sup>, Никитчук Н.М.<sup>1</sup>, Клягина Е.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград;*

<sup>2</sup>*Калининградский государственный технический университет, Калининград*

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, дизельная электростанция, методы неразрушающего контроля, смазывающий материал, надежность, износ, отказы.

**Аннотация.** Ключевым элементом дизельной электростанции является четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания. Именно он передает механическую энергию для вращения ротора генератора электроэнергии. Перманентной проблемой оценки технического состояния данного оборудования является вопрос – как в режиме реального времени контролировать износ и работоспособность столь нагруженного узла. Стоит отметить, что на действующих дизельных электростанциях большинство применяемых методов диагностики, остаются достаточно устаревшими и дают возможность оценивать ресурс дизельного генератора, лишь по мото-часам или уже явным признакам износа, что зачастую приводит к более серьезным проблемам. При этом если бы была возможность контролировать износ в целом и ликвидировать нарастающие неисправности своевременно, это бы позволило обходиться меньшим ущербом для предприятия, значительно сократить эксплуатационные риски и в целом повысить надежность энергохозяйства. Зачастую оператор не может контролировать износ оборудования, тем самым не может влиять на ресурс. В исследовании рассмотрим два наиболее эффективных метода позволяющих контролировать износ двигателей и энергетического оборудования без остановки технологических процессов – вибрационный контроль и контроль примесей в масле двигателя. Проведем оценку их информативности и эффективности.

## THE PROBLEM OF THE TECHNICAL CONDITION CONTROL OF FOUR-STROKE DIESEL ENGINE WITH INTERNAL COMBUSTION

*Ananiev G.E.<sup>1</sup>, Nikitchuk E.M.<sup>1</sup>, Klyagina E.M.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad;*

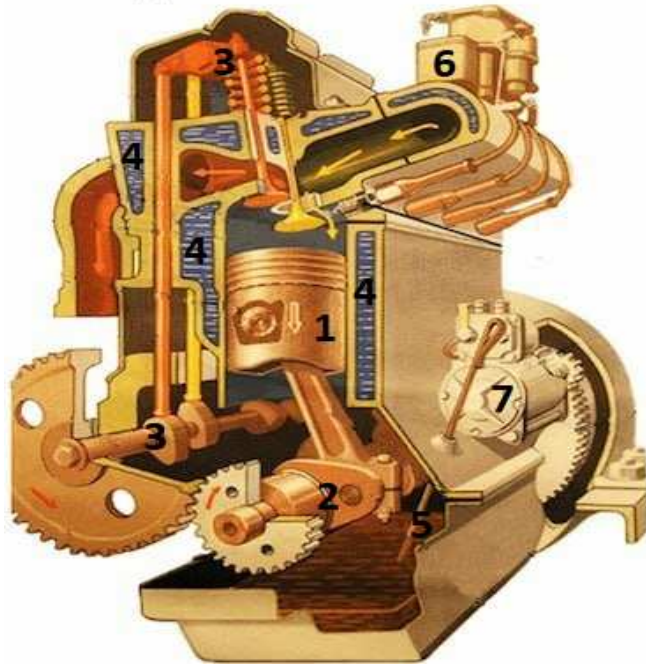
<sup>2</sup>*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad*

**Keywords:** internal combustion engine, diesel power plant, non-destructive testing methods, lubricants, reliability, wear, failures.

**Abstract.** The key element of a diesel power plant is a four-stroke internal combustion engine. It transfers mechanical energy to rotate the rotor of the electricity generator. The permanent problem of assessing the technical condition of this equipment is the question of how to monitor the wear and performance of such a loaded node in real time. It should be noted that at operating diesel power plants, most of the diagnostic methods used remain quite outdated and make it possible to assess the resource of a diesel generator only by engine hours or already obvious signs of wear, which often leads to more serious problems. At the same time, if it were possible to control wear in general and eliminate growing malfunctions in a timely manner, this would make it possible to do less damage to the enterprise, significantly reduce operational risks and, in general, increase the reliability of the energy sector. Often, the operator cannot control the wear of the equipment, and thus cannot increase the resource. In the study, we will consider the two most effective methods that allow controlling the wear of engines and power equipment without stopping technological processes - vibration control and control of impurities in engine oil. The information content and effectiveness of these methods are evaluated.

Двигатель внутреннего сгорания представляет собой сложное техническое устройство, преобразующее энергию сгорания топлива (химической реакции) в механическую энергию. На рисунке 1 изображена общая схема двигателя.

### ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ



- 1- Цилиндро-поршневая группа
- 2- Кривошипно-шатунный механизм
- 3- Газораспределительный механизм
- 4- Система охлаждения
- 5- Система смазки
- 6- Система подачи топлива
- 7- Система зажигания

Рис. 1. Общая схема дизельного двигателя

Начнём с первого метода контроля – вибрационного. Это одна из уникальных разновидностей неразрушающего контроля. Она заключается в мониторинге и анализе показателей вибрации (колебаний), которые создает дизельная установка в составе дизельного генератора [1]. Данный вид контроля позволяет проконтролировать фактическое состояние и оперативно выяснить неисправность в работе вентилятора системы охлаждения, цилиндра-поршневой группы (ЦПГ), системы подачи топлива и т.д. [2]. Рассмотрим достоинства и недостатки данного метода в таблице 1. Данный метод открывает нам достаточно большой спектр информативности в поиске неисправностей, но всё же, не дает нам полную картину ресурса ДВС. Перейдем к нашему “оппоненту” в виде метода контроля примесей в масле двигателе и контроля самих свойств смазывающего материала [3]. Этот метод контроля направлен на анализ масла в ДВС, после анализа мы получаем количество примесей в нем, свойств самого смазывающего материала и можем выявить износ тех или иных узлов и агрегатов, например, появление частиц олова или меди в составе масла даст нам понять, что происходит износ шатунных вкладышей, и они требуют замены, контролировать состояние смазывающего материала в двигателе, тем самым позволит контролировать свойства масла и менять его при падении смазывающих свойств, но полученные данные позволяют нам не только прогнозировать техническое обслуживание ДВС, но и его текущий и капитальный ремонт, поскольку на основе полученных данных и их анализа, появится возможность спрогнозировать износ тех или иных систем и групп [4].

Табл. 1. Достоинства и недостатки вибрационного метода контроля

Достоинства	Недостатки
1. Требуется малое количество времени для контроля. 2. Обнаружение неисправности или отклонения в момент его зарождения. 3. Получение информации даже в труднодоступных местах. 4. Позволяет обнаружить скрытые неисправности, такие как, например, износ седла клапана головки блока двигателя.	1. Особенное закрепление датчиков на исследуемое оборудование. 2. Зависимость вибрации от множества факторов и отсюда вытекает другой недостаток, требуется квалифицированный персонал, способный различать данные моменты и нюансы, при проведении контроля. 3. Достаточно емкое оборудование в виде датчиков, проводов.

Рассмотрим достоинства и недостатки данного метода контроля в таблице 2 и подведем небольшой итог по эффективности данного метода контроля. Он позволяет получать достаточно яркую картину и представлять текущее состояние ДВС, что позволит спрогнозировать своевременный ремонт или обслуживание, для сохранения ресурса и работоспособности ДВС дизельной электростанции.

Табл. 2. Достоинства и недостатки метода контроля примесей в масле двигателя

Достоинства	Недостатки
1. Предоставляет широкий спектр данных по износу ДВС и свойствам смазывающего материала. 2. Позволяет собирать и систематизировать информацию о необходимости технического обслуживания, текущего ремонта или капитального в тот или иной период, так как позволит контролировать свойства масла и примесей в нём. 3. Простота метода в виде, взятие проб смазывающего материала 4. Позволяет прогнозировать износ тех или систем и групп. 5. Достаточно мобильный метод контроля, есть возможность применения в “полевых” условиях.	Требует определенной квалификации, для разбора полученной информации после анализа смазывающего материала

Рассмотрев данные методы неразрушающего контроля, их стоит сравнить друг с другом, для четкого представления о взаимодополняемости и взаимозаменяемости в интерактивной оценке технического состояния дизельного двигателя [5]. В таблице 3, приведено сравнение эффективности данных методов с основными узлами ДВС. ЦПГ выделена как отдельная группа, а не часть кривошипно-шатунного механизма (для более четкого и ясного сравнения) [6].

Табл. 3. Сравнение методов контроля

Системы двигателя	Методы контроля	
	Вибрационный	Контроль примесей в масле двигателя
1. Цилиндро-поршневая группа	Позволяет обнаружить износ цилиндра и поршневых колец	Позволяет обнаружить износ цилиндра и поршневых колец, в том числе предположить стадию износа данной группы
2. Кривошипно-шатунный механизм	Позволит обнаружить только уже поломку, так как большая часть данной группы не подвержена вибрации	Позволит по примеси масла, обнаружить износ вкладышей коленчатого вала, тем самым предотвратить проворачивание цилиндра в двигатели
3. Газо-распределительный механизм	Позволит обнаружить износ седла клапана, так как при начальном износе появится едва заметная вибрация, что позволит спрогнозировать о необходимости регулировки или ремонте узла	Позволит по примеси определить износ седла клапана и соответственно спрогнозировать о необходимости регулировки или ремонта узла
4. Система охлаждения	По вибрации дает возможность спрогнозировать износ водяного насоса	Данный метод может лишь указать нам о попадании охлаждающей жидкости в систему смазки
5. Система смазки	Данный метод не дает информативности по данной системе	Позволит спрогнозировать и проанализировать масло ДВС, его примеси и в целом состояние масла такие как вязкость, текучесть, состояние на данный момент
6. Система подачи топлива	Позволит контролировать износ топливного насоса	Не дает возможности контроля данной системы
7. Система зажигания	При неравномерной работе двигателя, может указать на неисправность со свечами накала или проблем с системой зажигания	При неравномерной работе и соответственно неравномерному сгоранию топлива, даст возможность обнаружить по примеси масла данные проблемы

Проведя анализ данного сравнения в таблице 3, можно обнаружить слабые и сильные стороны каждого метода неразрушаемого контроля [7] показав их взаимозаменяемость и взаимодополняемость, ввиду того, что данное сравнение всё равно не дает окончательно убедиться в возможном превосходстве какого либо метода, следует оценить данное сравнение на примере лепестковой диаграммы [8].

Сравним эффективность данных методов неразрушающего контроля и их взаимодополняемость и взаимозаменяемость, на лепестковой диаграмме, представленной на рисунке 2.

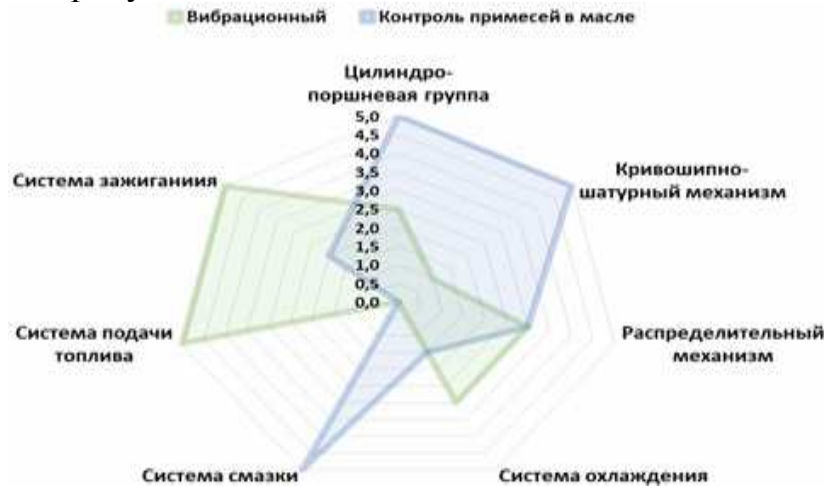


Рис. 2. Лепестковая диаграмма, эффективность методов в зависимости от контроля системы: 5 – это крайне высокий контроль и информативность, 1 – крайне низкий контроль и информативность

Площадь лепестковой диаграммы составляет:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n k_i k_{i+1} \sin \alpha}{2}, \quad (1)$$

где  $k_{n+1}=k_1$  и представляет собой аддитивно-мультипликативную свертку целевых показателей исследуемой системы. Площадь [9] правильного многоугольника с радиусом  $k_i=1$  равна:

$$S_{\max} = \frac{n \sin \alpha}{2}, \quad (2)$$

и характеризует максимальное значение данной свертки. Отношение площадей характеризует степень близости агрегированного показателя к максимально возможному значению [10]:

$$F(K) = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i k_{i+1}}{n}. \quad (3)$$

Если целевые показатели имеют различную значимость для исследователя, то ее можно учесть изменением полярного угла  $\alpha_i$ , удовлетворяющего условию:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 2\pi. \quad (4)$$

Чем больше угол  $\alpha_i$ , тем больше площадь сектора с радиусом  $k_i$ . В этом случае агрегированный показатель качества системы будет иметь вид:

$$F(K) = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i k_i^2}{2\pi}. \quad (5)$$

Произведя расчеты указанных методов контроля, получаем следующие результаты, общая площадь контроля примесей в масле 25,8 ,а общая площадь вибрационного метода 23,3. Их общая площадь 10, отдельная непересекающая площадь контроля примесей в масле получается 15,8, а вибрационного метода 13,3.

Из приведенного рисунка 2 и формул видно, что площади лепестковой диаграммы можно быстро и достаточно точно определить информативность и контроль той или иной системы в ДВС, тем самым сделать вывод, какой метод наиболее подходит под определенные проблемы.

**Заключение.** Любая оценка технического состояния, как и в целом контроль, должен быть комплексным, нельзя в полной мере оценить действительное состояние оборудования, без его “вскрытия”, но зачастую данная процедура имеет два минуса, потеря времени и денежных средств, тем самым требуются методы контроля без демонтажа и разбора ДВС с дизельной электростанции, что позволит сэкономить не только денежные средства и время, но и самое главное, “подушку” безопасности для предприятия, при перебоях электросетей.

Проведя предварительное сравнение, мы можем сделать вывод, что оба метода имеют свои преимущества и недостатки, свои слабые и сильные стороны, но для более наглядного получения результатов на предприятиях-потребителях требуются производить систематический анализ получаемых данных от данных методов контроля, данный анализ позволит создать программы, которые будут оперативно сигнализировать о пределах и требующемся техническом обслуживании или же ремонте. Также данные процедуры позволят выявлять пределы ресурса двигателя, прогнозировать потенциальные проблемы в нём, выявлять “слабые” и “сильные” стороны ДВС. Представленные данные методы контроля однозначно позволяют оценить состояние ДВС в составе дизельной электростанции и в свою очередь обеспечат своевременность технического обслуживания и ремонта энергогенерирующего оборудования и бесперебойную работу предприятия.

#### Список литературы

1. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин: - 2-е изд. исправл. – М.: Машиностроение, 2000 – 344 с.
2. Костин В.И. Сравнительная оценка интенсивности вибрации с переменной во времени амплитудой эквивалентным значениям виброскорости гармонических колебаний // Проблемы прочности. – 1974. – №9. – С. 103-109.
3. Das A. K., Hansdah D., Panda A. K. Thermal balancing and exergetic performance evaluation of a compression ignition engine fuelled with waste plastic pyrolytic oil and different fuel additives // Energy. 2021, vol. 229, p. 120629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120629>.

4. Мазур Е.В., Щербань П.С., Мазур В.С. Исследование рабочих характеристик моторного масла судового двигателя с применением матрицы параметров процесса // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2022. – № 4(53). – С. 85-95. – DOI: 10.24866/2227-6858/2022-4/85-95.
5. Крамаренко Е.Р., Сахарова О.Н., Дмитриева И.А., Гордиенко Л.В. Диагностика двигателей внутреннего сгорания с использованием алгоритма интеллектуального управления // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 6(288). – С. 17-21.
6. Сычев А.М., Калныш А.А. К вопросу о диагностике элементов системы смазки ДВС // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2018. – № 3(29). – С. 3-6.
7. Логунов А.В., Береснев А.Л. Вибромониторинг двигателя внутреннего сгорания // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 6(223). – С. 160-170. – DOI: 10.18522/2311-3103-2021-6-160-170.
8. Щербань П.С., Мазур Е.В., Мазур С.Н. Использование метода матрицы параметров процесса в управлении динамикой износа судового двигателя // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2022. – Т. 88, № 9. – С. 47-52. – DOI: 10.26896/1028-6861-2022-88-9-47-52.
9. Кузьмин О.В., Голиков В.А. Применение метода "дерево решений" в диагностике неисправности двигателя внутреннего сгорания автомобиля // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 2(70). – С. 113-120. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.2(70).113-120.
10. Галабурда А.М., Великанов Н.Л., Мазур Е.В., Щербань П.С. Деформация и износ подшипникового узла установки для производства полиэтилентерефталата // Транспорт и сервис. – 2019. – № 7. – С. 75-83.

Сведения об авторах:

*Ананьев Григорий Евгеньевич* – магистрант;

*Клягина Евгения Максимовна* – магистр;

*Никитчук Евгений Михайлович* – магистрант.