

УДК 531.781

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА В СЭУ**Мамонтов Лев Алексеевич¹**, студент*e-mail:* mamontov114bsk@mail.ru**Сибриков Дмитрий Александрович¹**, канд. техн. наук, заместитель директора Института инженерных и цифровых технологий*e-mail:* sibrikov@nsawt.ru**Иванчик Сергей Николаевич¹**, старший преподаватель кафедры Теории корабля, судостроения и технологии материалов*e-mail:* tksitm.isn@mail.ru¹ Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия

Аннотация. Приведено обзор методов, применяемых для определения крутящего момента валов.

Ключевые слова: крутящий момент, методы измерения крутящего момента.

TORQUE MEASUREMENT METHODS IN POWER PLANT**Lev A. Mamontov¹**, Student*e-mail:* mamontov114bsk@mail.ru**Dmitry A. Sibrikov¹**, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director of the Institute of Engineering and Digital Technologies*e-mail:* sibrikov@nsawt.ru**Sergey N. Ivanchik¹**, Senior Lecturer, Department of Ship Theory, Shipbuilding and Materials Technology*e-mail:* tksitm.isn@mail.ru

Abstract: A review of the methods used to determine shaft torque is provided.

Key words: torque, torque measurement methods.

При эксплуатации двигателей одним из важных параметров работы является эффективная мощность, то есть мощность, на выходном валу машины, передаваемая потребителю. Она определяется двумя параметрами: крутящим моментом и угловой скоростью вращения коленчатого вала.

$$N_e = M_{кр} \omega, \quad (1)$$

где N_e – эффективная мощность, кВт;

$M_{кр}$ – крутящий момент, Нм;

ω – угловая скорость, c^{-1} .

Для определения угловой скорости достаточно штатных тахометров разных типов, позволяющих определять частоту вращения с требуемой точностью.

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (2)$$

Для определения крутящего момента существуют разные подходы.

В большинстве случаев достаточно знать постоянное среднее значение момента. Для таких случаев подходят: торсиометры и гидротормозы. В основу этих методов положена зависимость крутящего момента от угла скручивания вала при приложении к нему крутящего момента.

$$M_{кр} = \alpha \varphi, \quad (3)$$

где α – коэффициент пропорциональности;

φ – угол поворота осевой линии.

Принцип действия торсиометров связан с измерением деформации вала при приложении крутящего момента.

Тензометрический метод измерения крутящего момента заключается в следующем. На поверхности вала располагаются тензодатчики. Они располагаются под углом 45 градусов к оси вала. Это связано с деформацией волокон материала вала при приложении крутящего момента. Как известно, в этом случае происходит их скручивание. При этом линия скручивания составляет угол 45 градусов, поэтому тензодатчики, расположенные соответствующим образом будут испытывать деформации растяжения или сжатия в зависимости от их расположения. Слабым местом схемы являются токосъемные кольца, которые должны обеспечивать надежность передачи и точность показаний. Часто для них используют латунь или серебро, а для контактных щеток используют соединения графита. Более надежными являются ртутные токосъемники, но они сложны и небезопасны в эксплуатации. С появлением микроконтроллеров и устройств передачи и приема радиосигнала появилась возможность передавать цифровой сигнал без необходимости непосредственного контакта в цепи тензодатчиков (Рисунок 1) [1].



Рисунок 1 – Расположение тензодатчиков при измерении крутящего момента [2]

Торсиографирование. Сущность метода заключается в том, что при скручивании вала величина крутящего момента пропорциональна величине деформации (Рисунок 2). При этом методе определяется угловое смещение линии, расположенной на поверхности вала вдоль его оси.

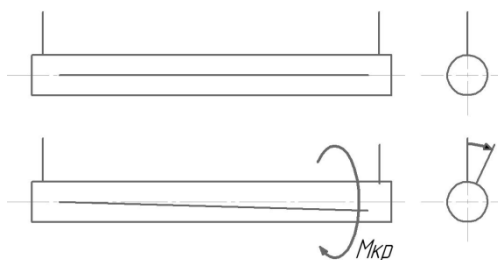


Рисунок 2 – Схема скручивания вала при приложении крутящего момента

Фиксация ее может происходить, например, по изображению, получаемому при освещении стробоскопическим источником света [3].

Магнитоупругие торсиометры. Устройства, которые используют явление изменения магнитной проницаемости материала вала при его деформации.



Рисунок 3 – Магнитоупругий торсиометр [4]

Нагрузка от веса двигателя воспринимается фундаментом. При приложении крутящего момента реакции опор будут изменяться. Для определения момента требуется установка динамометрических датчиков под платформой (фундаментом) двигателя. Недостатком метода является подвижность фундамента относительно корпуса [5].

Еще один способ связан с применением различных типов балансирных тормозов. Особенность заключается в поглощении энергии, вырабатываемой двигателем под нагрузкой. При небольших мощностях в качестве нагрузки можно использовать генератор, а энергию направлять на электрические сопротивления. Однако, при прохождении тока температура сопротивления будет увеличиваться, что приводит к изменению сопротивления и неточностям определения момента. При большей мощности используются различного типа гидротормозы. В качестве рабочих жидкостей используются чаще вода или масло [6]. Наиболее простым вариантом является гидротормоз, использующий проточную воду, выполняющую функции вязкой среды, создающей сопротивление, и охлаждения (Рисунок 4). На валу и корпусе установлены пальцы, расположенные в параллельных плоскостях. Когда корпус пуст, то сопротивления при вращении вала практически нет. При подаче воды в гидротормоз и вращении вала корпус стремится повернуться вслед за вращающимся ротором. Возникающий момент сил сопротивления уравновешивается грузом, стремящимся вернуть корпус с начальное положение.

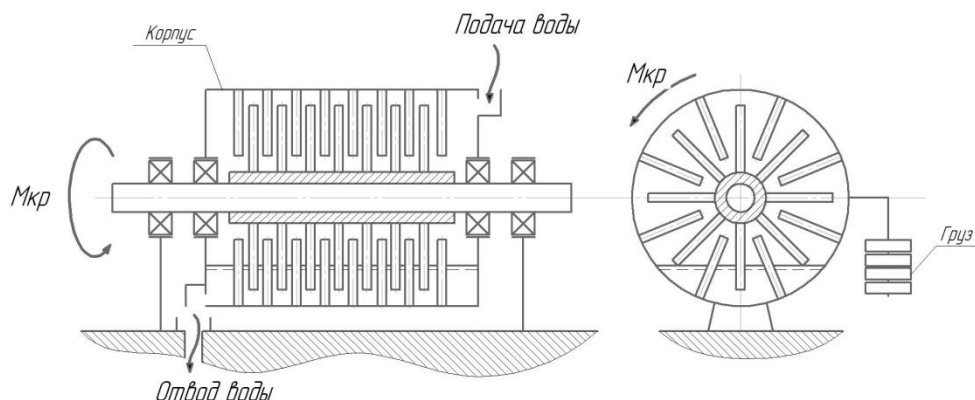


Рисунок 4 – Схема гидротормоза

В некоторых случаях информации о среднем крутящем моменте оказывается недостаточно. Как известно, величина крутящего момента на валу поршневого двигателя является величиной переменной в течение рабочего цикла. Поэтому валы будут испытывать динамические нагрузки, которые создают в материале вала крутильные колебания. Для измерения крутильных колебаний в реальном времени необходимы измерительные комплексы, производящие опрос системы, обработку информации через очень малые промежутки времени [7]. Информация сохраняется в цифровом виде: величина сигнала с разверткой по времени. Далее, зная частоту вращения вала и коэффициенты преобразования сигнала, можно получить значения крутящего момента в зависимости от угла поворота.

Рабочие процессы, протекающие в цилиндрах неодинаковы, поэтому зависимость давления от угла поворота коленчатого вала в каждом цилиндре будет иметь индивидуальный характер. Следовательно, значения крутящего момента также будут претерпевать изменения. Эти изменения могут служить косвенным подтверждением того или иного дефекта в работе двигателя. [8, 9].

Таким образом, можно сделать вывод, что при приложении крутящего момента угловые деформации валов будут в области упругих деформаций пропорциональны величине крутящего момента. В зависимости от поставленных задач можно подобрать оборудование для измерения величины крутящего момента с заданной точностью.

Список литературы:

1. Аксенов, А. З. Измерение крутящего момента двигателя внутреннего сгорания / А. З. Аксенов, Н. Н. Сергеев // Труды ГОСНИТИ. – 2018. – Т. 132. – С. 79-86. – EDN YNKKDZ.
2. ZETLAB Система измерения крутящего момента. [сайт]. – URL: <https://zet.nt.ru/price/product/1196428> (Дата обращения: 29.04.2026). – Текст: электронный.
3. Патент № 2722339 С1 Российская Федерация, МПК G01L 3/00, G01L 5/00, G01M 15/00. Способ измерения крутящего момента на валу двигателя : № 2019131285 : заявл. 02.10.2019 : опубл. 29.05.2020 / А. С. Галеев, Р. Н. Сулейманов, О. В. Филимонов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN YWORXO.]
4. Измеритель мощности вала [сайт]. – URL: <https://maritech.com.vn/shop/products/shaft-power-meter/kyma/?lang=en> (Дата обращения: 29.04.2026). – Текст: электронный.
5. Патент на полезную модель № 90557 U1 Российская Федерация, МПК G01L 3/00. устройство для измерения крутящего момента, развиваемого двигателем : № 2008108136/22 : заявл. 03.03.2008 : опубл. 10.01.2010 / И. Л. Косолапов. – EDN OQJMSL.

6. Тормозной стенд для испытаний и послеремонтной обкатки дизелей / С. В. Овчинников, Ю. Е. Хрящев, Д. М. Малышев, Т. А. Рожкова // История и перспективы развития транспорта на севере России. – 2025. – № 1. – С. 154-158. – EDN CNDOZE.]. [Ворожцов, О. В. Гидродинамическое нагружающее устройство / О. В. Ворожцов, А. С. Дмитриева // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2022. – № 2. – С. 12-18. – DOI 10.15593/24111678/2022.02.02. – EDN ZEAYNK.

7. Анализ динамических характеристик крутильно-колебательных систем судовых энергетических установок / С. П. Глушков, С. С. Глушков, В. И. Кочергин, Б. О. Лебедев // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 2-2(40). – С. 59-66. – EDN XSFEFZ.

8. Лебедев, Б. О. Оценка мощности судовых энергетических установок / Б. О. Лебедев, В. И. Кочергин, С. С. Глушков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2019. – № 2. – С. 56-63. – DOI 10.24143/2073-1574-2019-2-56-63. – EDN TDUWQY.

9. Манаков, А. Л. Применение комплексного интегрального показателя для оценки технического состояния ДВС / А. Л. Манаков, А. С. Алехин // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 3(42). – С. 65-70. – EDN ZSMGZN.

