

# 06, июнь 2016

УДК 621.313.322-82; 621.3.042.4; 531.717.14

**О возможности использования индуктивных и токовихревых датчиков при исследовании воздушного зазора между ротором и статором гидрогенератора**

*Шкаранов Д.А., студент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Научный руководитель: Тумакова Е.В., ассистент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»  
[shkaranovda@student.bmstu.ru](mailto:shkaranovda@student.bmstu.ru)*

Гидроэнергетика непрерывно развивается в направлении увеличения мощности строящихся ГЭС. Уже введены в эксплуатацию агрегаты по 500-700 МВт и предстоит создание гидрогенераторов мощностью 1-1,5 миллиона киловатт. Повышение требования в отношении технико-экономических показателей, качества, надежности и долговечности гидрогенераторов вызвали необходимость совершенствования конструкций основных узлов, методов расчета и контроля. Достижения в этих областях сделали возможным значительно поднять общий уровень гидрогенеростроения. [1] Динамический зазор между статором и вращающимся ротором является важнейшим параметром, определяющим безопасность режима работы агрегата в целом. [2] Изменение динамического зазора между статором и ротором возникает под действием различных гидравлических, механических и электрических сил. Отклонение от нормы величины зазора свидетельствует о децентрированности ротора на валу, соединяющего ротор и турбину, об износе механической части гидроагрегата или об опасном режиме работы гидроагрегата. [3]

На сегодняшний день ведется активный поиск технологий измерения динамического зазора между статором и ротором работающего агрегата. [4] При ремонте агрегата в статическом положении производится замер формы ротора и статора с помощью механических индикаторов и щупов. Таким образом оценивают и прогнозируют величину динамического зазора агрегата в работе. Недостатками такого подхода являются низкая достоверность оценки, высокие требования к квалификации персонала,

необходимость остановки гидроагрегата для процедуры контроля. Такое положение дел существует на подавляющем большинстве энергогенерирующих предприятий России и ближайшего зарубежья. [5,6]

Применение бесконтактных датчиков повышает степень надежности и безопасности работы гидрогенераторов электростанций и позволяет осуществлять бесконтактное дистанционное измерение координат ротора нагруженного работающего гидроагрегата. Ряд токовихревых и индуктивных датчиков обладают необходимыми техническими характеристиками, позволяющими применять эти датчики для измерения воздушного зазора гидрогенератора, а в открытых информационно-поисковых ресурсах по патентам нет упоминания использования их в качестве первичного преобразователя. Поэтому необходимо провести исследование индуктивных и токовихревых датчиков на предмет использования их для определения воздушного зазора гидрогенератора.

Исследования проводились на примере индуктивного датчика SICK IMA 12-06BE3ZC0K имеющего аналоговый выход и на примере системы контроля кинематических параметров ТЕЗАР-2, в которую входит токовихревой датчик. Сначала рассмотрим результаты исследования индуктивного датчика.

Схема установки с использованием в качестве первичного преобразователя индуктивного датчика приведена на рис. 1. В паспорте датчика приведены примеры зависимости выходного напряжения от расстояния до объекта. Для разных материалов объекта зависимости различны. Графики представлены для объектов из алюминия и стали 37. Для объектов из других материалов эти зависимости могут значительно отличаться от представленных в примере. Именно поэтому целесообразно производить калибровку датчиков непосредственно с применяемым объектом.

Калибровка проводилась при помощи плоских концевых мер длины номинальными размерами от 1 мм до 6 мм с шагом 0,1 мм. Выходной сигнал с датчика фиксировался цифровым мультиметром Mastech MY63.

Результаты представлены в таблице 1 и на графике (рис. 2).

*Таблица 1*

Зависимость выходного напряжения от зазора между датчиком и измеряемым объектом

Зазор (мм)	1	2	3	4	5	6
Напряжение (В)	0,957	3,03	5,55	7,68	9,41	10,6

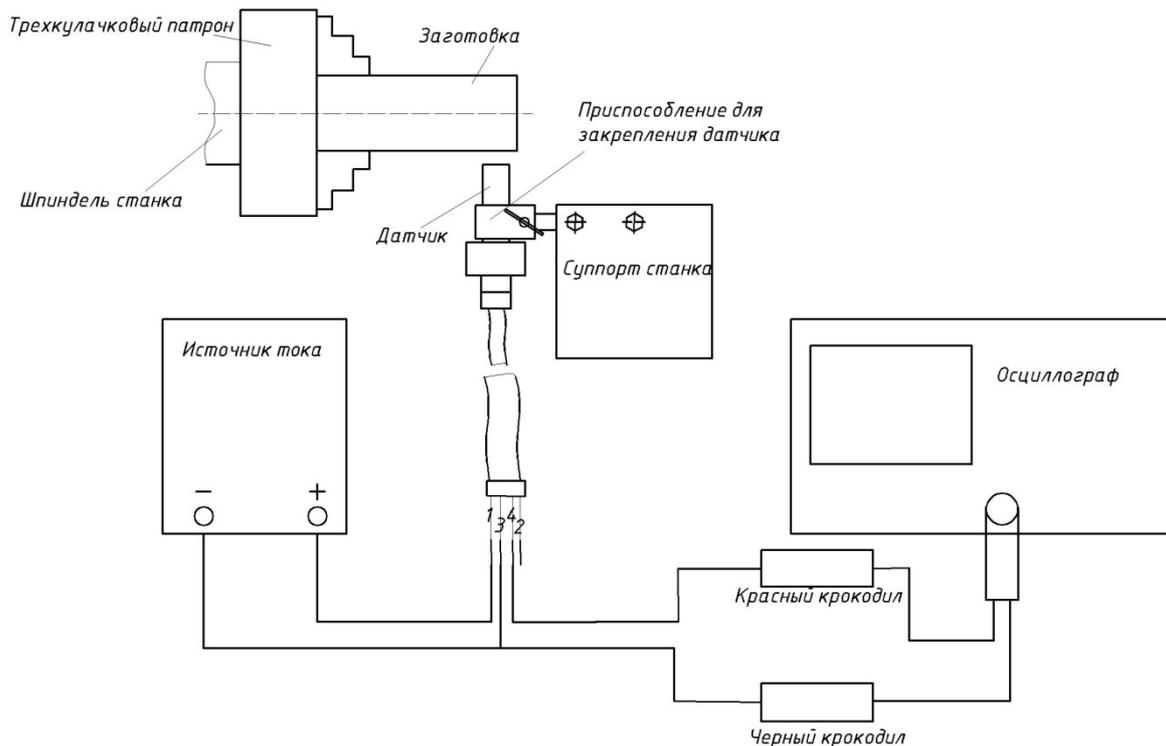


Рис. 1. Схема измерительной установки

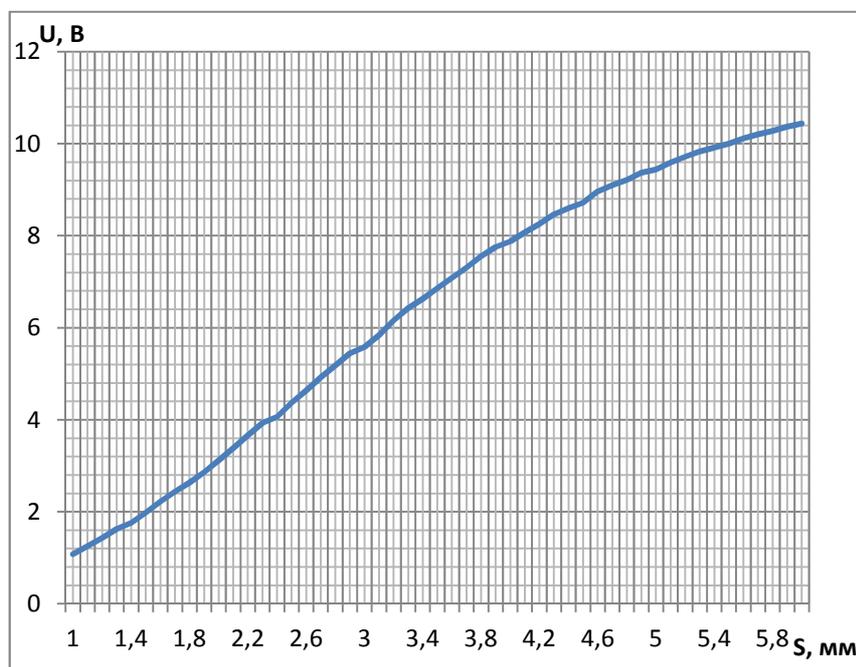


Рис. 2. Зависимость выходного сигнала от расстояния до объекта

Далее необходимо было проверить остается ли выходной сигнал датчика постоянным при изменении частоты вращения измеряемого объекта. То есть исследовалось возможность датчика реагировать на изменение зазора. Измеряемый

объект (заготовка) из-за неисправного трехкулачкового патрона имеет биение. Благодаря этому можно провести эксперимент, в котором будет исследоваться способность датчика реагировать на изменение воздушного зазора между датчиком и измеряемым объектом. Анализируя показания осциллографа, можно сделать вывод, что значения выходного напряжения практически не изменяются (изменения в пределах 0,45 %). Из этого делаем заключение, что датчики реагируют на изменение воздушного зазора между датчиком и измеряемым объектом при линейной скорости поверхности измеряемого объекта до 1,3 м/с (при большей скорости датчики не исследовались) и что показания датчиков обладают достаточной достоверностью при различных частотах вращения.

Следующая часть работы заключалась в том, чтобы проверить совпадают ли показания датчиков при измерении, когда заготовка неподвижна и когда она вращается. Эта способность датчиков исследовалась при разных начальных зазорах, чтобы проверить работоспособность датчика во всем диапазоне измерения.

Ход эксперимента:

Датчик отводился от измеряемого объекта на величину равную 1 мм. Затем вручную прокручивался шпиндель станка и при обнаружении максимального и минимального значения выходного напряжения снимались показания с осциллографа, тем самым производились измерения зазора при неподвижном измеряемом объекте. Затем заготовка приводилась во вращение и фиксировались показания осциллографа. После этого проделывались такие же опыты с установкой начального зазора равного 2 мм, 3 мм и 4 мм. Исследования проводились при частоте вращения заготовки 140 об/мин.

Анализируя показания осциллографа, можно увидеть, что минимальные и максимальные значения при неподвижной и вращающейся заготовке совпадают. Из этого можно сделать вывод о том, что индуктивный датчик подходит для использования при определении расстояния до объекта измерения, вращающегося с высокой скоростью, в том числе гидрогенератора.

Исследования токовихревых датчиков проводились на примере системы контроля кинематических параметров ТЕЗАР-2, в которую входит токовихревой датчик как первичный преобразователь. Схема установки приведена на рис. 3. Выходной сигнал токовихревого датчика зависит от так называемых «металлургических» свойств материала, которые определяются химическим составом, характером термической обработки особенно поверхностных слоев. Поэтому датчик должен тарироваться для каждого материала, а для более достоверной тарировки датчик целесообразно тарировать прямо на объекте измерения.

Калибровка проводилась при помощи плоских концевых мер длины номинальными размерами от 1 мм до 1,4 мм с шагом 0,05 мм. Этот диапазон выбран в соответствии с паспортными данными системы ТЕЗАР-2. Средний установочный зазор между поверхностью вала и плоскостью рабочего торца датчика составляет  $1,2 \pm 0,2$  мм. Выходной сигнал с датчика фиксировался цифровым мультиметром Mastech MY63. Результаты представлены в таблице 2 и на графике (рис. 4).

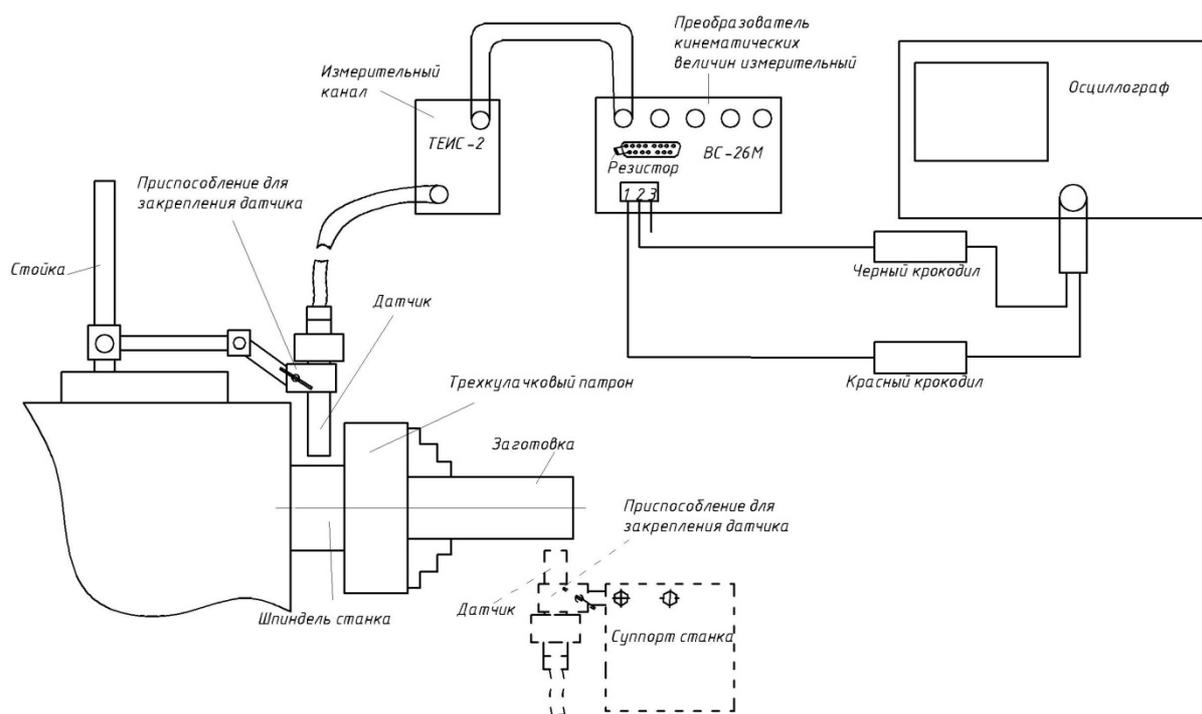


Рис. 3. Схема измерительной установки

Таблица 2

Зависимость выходного напряжения от зазора между датчиком и измеряемым объектом

Зазор (мм)	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4
Напряжение (В)	3,46	4,29	4,86	5,55	5,79	6,59	7,25	8,06	8,76

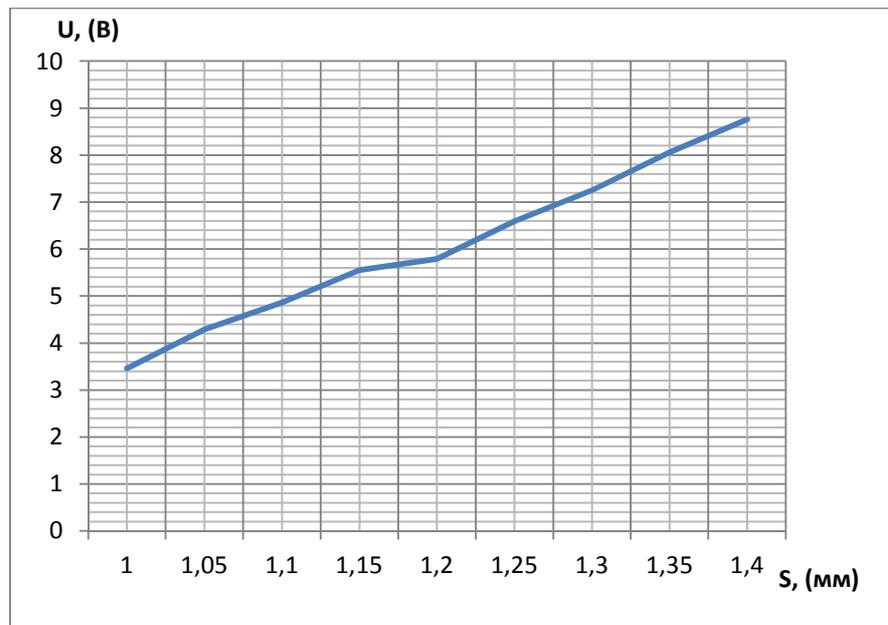


Рис. 4. Зависимость выходного сигнала от расстояния до объекта

Далее проводились эксперименты с целью исследования токовихревого датчика полностью повторяющие эксперименты по исследованию индуктивного датчика.

Анализируя полученные данные, делаем вывод, что токовихревые датчики реагируют на изменение воздушного зазора между датчиком и измеряемым объектом при линейной скорости поверхности измеряемого объекта до 1,3 м/с (при большей скорости датчики не исследовались) и что показания датчиков обладают достаточной достоверностью при различных частотах вращения. Также можно сделать заключение о том, что датчик можно использовать для определения расстояния до объекта измерения, вращающегося с высокой скоростью, в том числе гидрогенератора.

Помимо исследования возможности датчиков регистрировать изменение воздушного зазора при различной скорости поверхности заготовки, а также во всем диапазоне измерений следует провести испытания датчика в условиях работы гидрогенератора.

В ходе работы была разработана и собрана установка для исследований индуктивного и токовихревого датчиков. В ходе экспериментов были получены данные по калибровке индуктивного и токовихревого датчиков. Была оценена возможность применения этих датчиков для измерения воздушного зазора гидрогенератора.

Работа поддержана **грантом Президента Российской Федерации** для государственной поддержки молодых российских ученых **МК-3625.2015.8**. Отдельные

результаты поддержаны в рамках **НИР 9.1265.2014/К** по выполнению проектной части государственного задания в рамках научной деятельности (код проекта 1265).

### Список литературы

- [1]. Домбровский В.В., Дукштау А.А., Пинский Г.Б. Гидрогенераторы. Л.: Энергоиздат, 1982. 366 с.
- [2]. Ярошенко И.В. Математическая модель и метод классификации технического состояния высоковольтных мехатронных модулей // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2. С. 17-23.
- [3]. Абидова Е.А. Применение опорной маски спектра сигнала электродвигателя арматуры для диагностирования неисправностей // Инженерный вестник Дона. 2009. № 1. С. 28-30.
- [4]. Скворцов О.Б., Трунин Е.С. Синхронный динамический анализ формы ротора и магнитного поля для генераторов ГЭС и ГАЭС. Режим доступа: [pennwell.websds.net/2013/Moscow/rp-hvr/papers/T3S6O5-paper-ru.pdf](http://pennwell.websds.net/2013/Moscow/rp-hvr/papers/T3S6O5-paper-ru.pdf) (дата обращения 14.12.2015).
- [5]. СТО РУСГИДРО 70238424.27.140.001-2011. Гидроэлектростанции, методика оценки технического состояния основного оборудования. М.: НП «ИНВЭЛ», 2011. 405 с.
- [6]. Левицкий А.С., Новик А.И. Оценка погрешности измерения емкостными датчиками биений валов электрических машин // Техн. електродинаміка. 2010. № 4. С. 66-70.