

Многофункциональное противоразгонное устройство



В статье рассмотрены основные принципы работы противоразгонного устройства ПРУ 2000/750 разработки и производства ООО «НВФ Сенсоры, Модули, Системы». Данный класс устройств предназначен для безопасной остановки гидроагрегатов даже в условиях полной потери работоспособности средств автоматического контроля и управления. Описаны особенности конструкции и применения данного устройства, увеличивающие надежность и удобство эксплуатации.

Группа компаний «СМС-Автоматизация», г. Самара

Конструкция и принцип работы ПРУ 2000/750

Гидроагрегаты при отказе регулятора частоты вращения турбины способны разгоняться до критических оборотов, когда воздействия центробежных сил приводят к необратимым деформациям элементов ротора генератора и, как следствие, к серьезным авариям.

Система аварийных защит от разгона гидроагрегата выполнена по трехступенчатой схеме. Первая ступень реализована алгоритмически в контроллере регулятора турбины и, как правило, срабатывает при 115% номинальных оборотов. Вторая ступень может быть реализована несколькими системами автоматического управления (регулятором, технологической автоматикой), настройка срабатывания чаще всего находится в диапазоне 140–170%. В связи с высоким потенциальным ущербом при несрабатывании данной ступени она также дополняется устройствами, не требующими электрического питания для своей работы. Данные устройства 3-й ступени (ПРУ) состоят из двух элементов — центробежного выключателя (ЦВ), устанавливаемого на вал гидроагрегата и изменяющего свое положение под действием центробежных сил, и гидравлического блока управления (ГБУ), устанавливаемого на неподвижное

основание и обеспечивающего изменение гидравлической схемы в положение «на закрытие» (рис. 1).

Для обеспечения надежности срабатывания систем защиты гидротурбин от разгона центробежный выключатель устанавливается непосредственно на вал гидротурбины без использования промежуточных звеньев передачи вращения. При этом исполнительный механизм ГБУ располагается на неподвижной части гидротурбины,

и ЦВ способен воздействовать на него только в одном из своих угловых положений.

Исторически не все гидроагрегаты оснащались устройствами защиты третьей ступени в полном объеме. Для решения данной проблемы ПАО «РусГидро» запустило программу модернизации, заключающейся в дооснащении гидроагрегатов комплектами оборудования для реализации третьей ступени защиты от разгона.

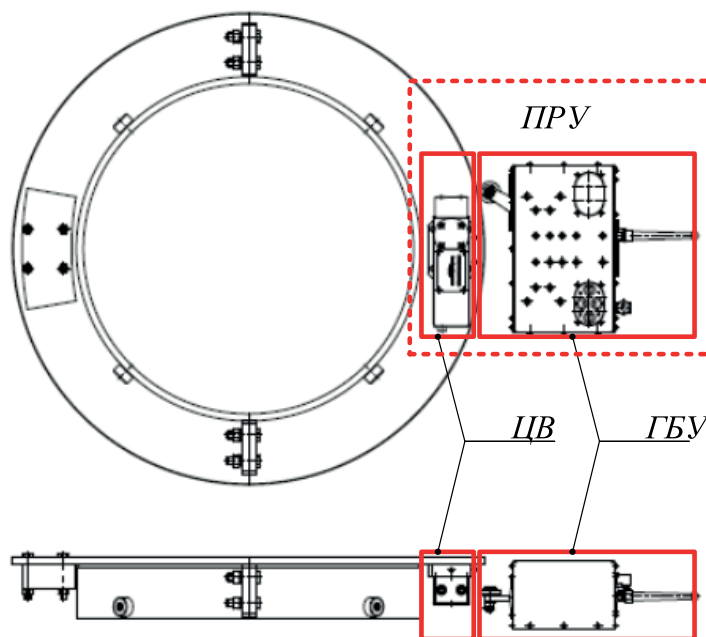


Рис. 1. Общая схема установки

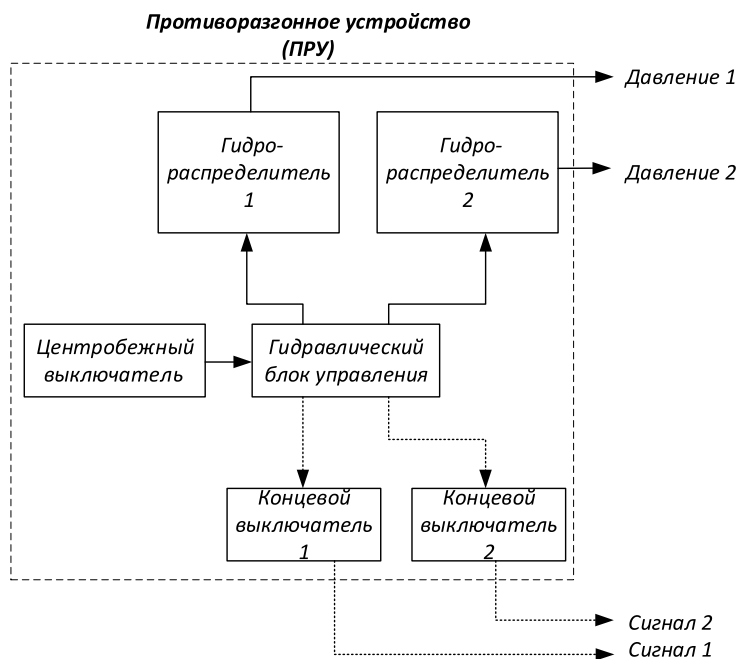


Рис. 2. Схема функциональная ПРУ

Описание и отличительные особенности ПРУ 2000/750

Данное устройство интегрируется с гидравлической и электрической схемами регулятора частоты вращения и при определенных условиях выдает гидравлический сигнал в систему аварийного закрытия регулирующего органа турбины. Одновременно с этим выдается электрический сигнал для дублирования защиты путем запуска алгоритма аварийного останова в системах управления.

На функциональной схеме (рис. 2), видно, что в данном устройстве возможно использование двух различ-

ных давлений от разных источников, что повышает надежность всей схемы в целом.

Одним из главных элементов этой системы является механическое противоразгонное устройство, в состав которого входят гидравлический блок управления (рис. 3) и центробежный выключатель (рис. 4).

Гидравлический блок управления представляет собой механический конструктив, на котором смонтированы рычаги защелки, гидрораспределители и микропереключатели. ГБУ устанавливается на неподвижном элементе конструкции гидроагрегата и воспринимает физическое воздействие от сработавшего ЦВ.

Центробежный выключатель дискретного типа устанавливается на валу гидроагрегата. Настройка ЦВ опре-

деляется для каждого ГА индивидуально.

Производство и опыт внедрения ПРУ 2000/750

ПРУ 2000/750 является запатентованной разработкой ООО «НВФ СМС». Производство и испытания устройства производятся на территории Завода автоматизированных систем (производственная площадка ООО «НВФ СМС» в г. Чапаевске).

В производстве предусмотрены несколько вариантов исполнения ПРУ в зависимости от пожеланий заказчика:

- ▶ один или два гидравлических канала;
- ▶ один или два электрических канала в любых сочетаниях;
- ▶ степень защиты IP в зависимости от места установки ПРУ.

Все возможные варианты исполнения прописываются в опросном листе и отображаются в полном заказе номер изделия.

При проектировании и отладке ПРУ применяются методы 3D-моделирования и 3D-печати. При формировании нестандартного заказа на производство на основе опросных листов строится цифровая 3D-модель, по которой может быть создана физическая аддитивная модель на 3D-принтере (рис. 5). Такая натурная модель позволяет проверить правильность установочных размеров, доступность узлов для монтажа и проверок и т. п.

После подтверждения адекватности натурной модели начинается производство изделия, которое ведется из высококачественной конструкционной стали, легированной стали. Все детали имеют антикоррозийное

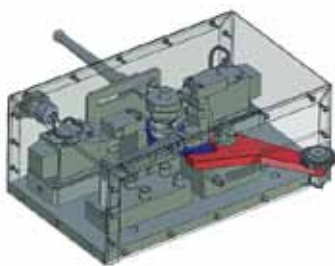


Рис. 3. Гидравлический блок управления ПРУ

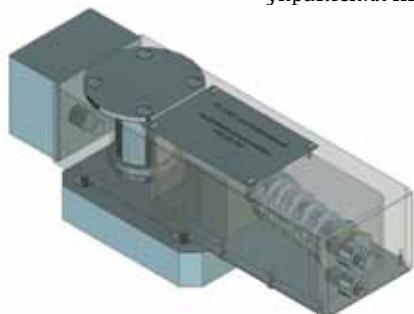


Рис. 4. Центробежный выключатель ПРУ

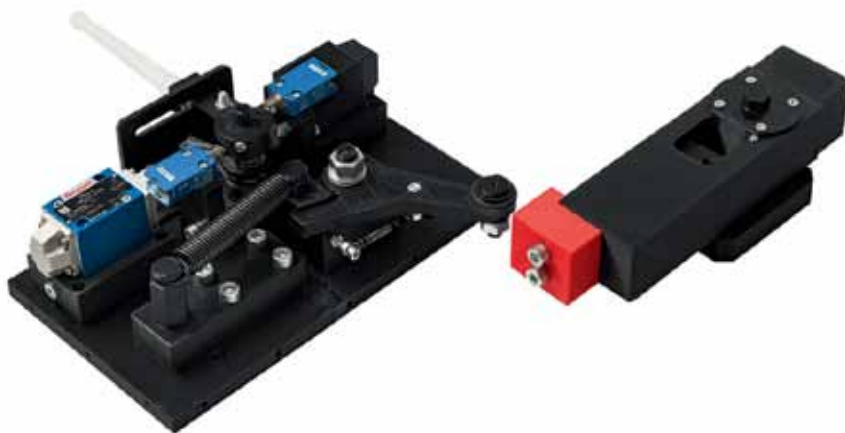


Рис. 5. Натурная модель ПРУ из пластика



Рис. 6. Стенд испытаний ПРУ



Рис. 7. Инфракрасные датчики частоты вращения и контроля срабатывания ЦВ

покрытие. Сборка ведется под наблюдением специалистов ОТК.

Для выполнения настройки срабатывания ЦВ разработан специализированный испытательный стенд

(рис. 6), что дает возможность осуществлять полный комплекс наладочных работ.

Все работы выполняются высококвалифицированными специалистами,

которые руководствуются разработанными регламентами по входному контролю качества, доукомплектованию в соответствии с опциями при заказе, монтажу и испытаниям на стенде, оформлению паспортов изделий. Стенд представляет собой конструкцию, имитирующую реальные условия эксплуатации ПРУ в системе аварийных защит гидроагрегатов от повышенной частоты вращения. Принятая организация производства обеспечивает возможность проведения испытаний с соблюдением размеров вала турбины в масштабе 1:1, а также имитацией различного темпа разгона для максимального приближения условий испытаний к реальным.

Все работы по разработке механического конструктива, электронных компонентов системы управления и измерения стенда, программного обеспечения были выполнены специалистами ООО «НВФ СМС».

Одним из важных элементов стенда ПРУ является система измерения, спроектированная на базе технологий периферийных вычислений, где вся обработка информации происходит в непосредственной близости от датчиков и передается в виде агрегированной информации на пульт оператора. Система измерений имеет два канала связи – проводной и резервный радиоканал, что обеспечивает надежность и стабильность работы.

Аппаратная часть включает в себя инфракрасный датчик частоты вращения, беспроводной датчик на центробежном выключателе, который фиксирует момент срабатывания самого центробежного выключателя,



Рис. 8. Пульт оператора стенда ПРУ

автоматизированную панель управления для плавного регулирования скорости вращения двигателя (рис. 7). Датчики имеют низкий уровень погрешности измерения – 0,05%.

Момент срабатывания ПРУ имитированной турбины электростанции и частота ее вращения с выводом графика отображаются на пульте оператора. Благодаря графику и системе визуального контроля оператор следит за ходом испытания и при возникновении любой нештатной ситуации может своевременно принять решение об остановке и отключении стенда. Все органы оперативного управления стендом находятся у оператора под рукой (рис. 8).

На функциональной схеме ПРУ (рис. 2) видно, что при повышении частоты вращения гидроагрегата выше допустимой подвижная часть центробежного выключателя под действием центробежных сил перемещается и воздействует на рычаг золотника противоразгонной защиты. В результате золотник гидрораспределителя перемещается, коммутируя в блоке управления гидравлический импульс от напорного давления, что приводит к формированию сигнала на закрытие НА от системы аварийного закрытия в обоих контурах. Одновременно выдается дублирующий сигнал типа «сухой контакт» на запуск алгоритма аварийного останова.

Отдельно необходимо отметить, что в соответствии с регламентирующими документами необходимо пе-

риодически проводить испытание защит. В случае с ПРУ это означает разгон до предкритических скоростей, что вызывает повышенный износ оборудования, создает риск перехода к критической скорости, а также требует привлечения к работе большого количества эксплуатационного и оперативного персонала. При необходимости подстройки ЦВ испытания приходится повторять, что усугубляет проблему.

Для решения данных проблем ООО «НВФ СМС» предлагает запатентованное решение – дооснащение ПРУ специальным дополнительным поверочным грузом (рис. 9).

Установка дополнительного поверочного груза на ЦВ изменяет на-

деленную величину. Срабатывание ЦВ и всей системы защиты от разгона в целом происходит на оборотах выше номинальных, но без разгона до предкритической частоты вращения. Таким образом, исключается повышенный износ оборудования, отсутствуют риски перехода к критической скорости, а также упрощается программа испытаний и, как следствие, снижается количество задействованного персонала.

На представленных графиках (рис. 10, 11) можно увидеть, как изменяется частота вращения, при которой происходит срабатывание ЦВ, с установленным дополнительным грузом и без него. Установка дополнительного груза приводит к смещению центра масс и, как результат, изменению

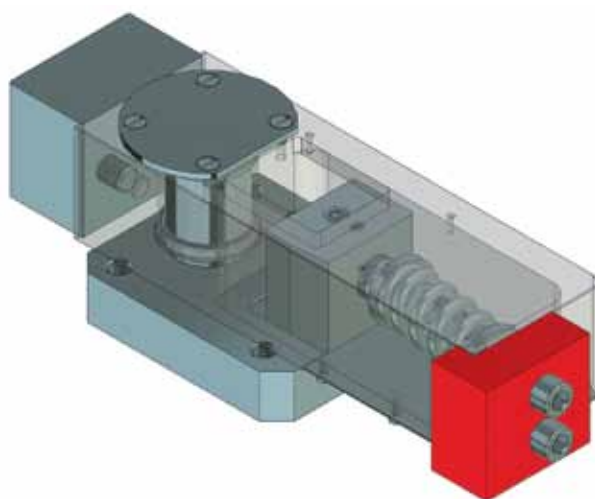


Рис. 9. Центробежный выключатель ПРУ с дополнительным проверочным грузом

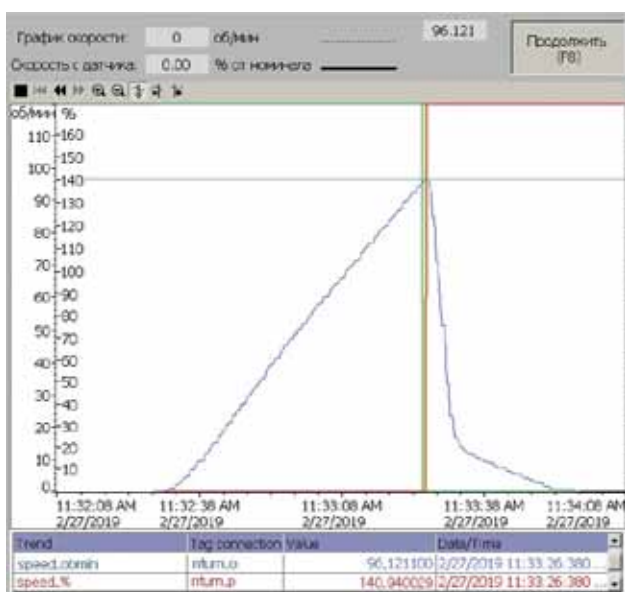


Рис. 10. График срабатывания ПРУ: настройка 141%

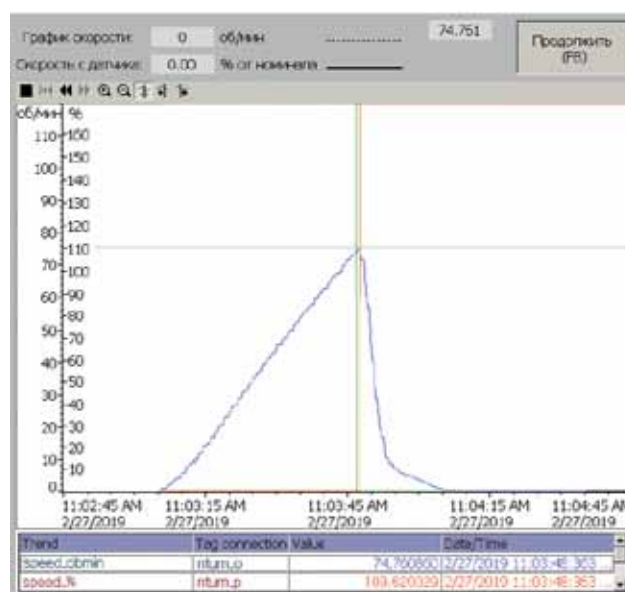


Рис. 11. График срабатывания ПРУ 110% с проверочным грузом: настройка 141%

оборотов, при которых происходит срабатывание ЦВ. В конкретном случае ЦВ настроен на срабатывание при 141 %, груз дополнительный рассчитан так, чтобы с ним ЦВ срабатывал при $110 \pm 2\%$. Обороты 110 % выбраны из расчета, что срабатывание ЦВ будет происходить до вступления в работу первой ступени защиты.

Таким образом, проверка системы сводится к выполнению ряда операций: установить груз дополнительный, запустить ГА в режим холостого хода турбины, увеличить частоту вращения до момента срабатывания ПРУ (не более 114%), зафиксировать частоту вращения, при которой сработало ПРУ, сравнить с паспортными данными.

Конструкция ПРУ также позволяет применять динамометрический ключ в качестве дополнительного средства инструментального контроля (рис. 12).

Данная особенность позволяет:

- ▶ выполнить предварительную настройку ЦВ на объекте при замене;
- ▶ проконтролировать настройку ЦВ перед установкой на объект.

Проверку настройки можно проводить на остановленном ГА с любой периодичностью, определяемой инструкцией по эксплуатации ГА.

К настоящему времени противоразгонные устройства, разработанные ООО «НВФ СМС», смонтированы и эксплуатируются на объектах ПАО «РусГидро»: Рыбинской ГЭС, Угличской ГЭС, Жигулевской ГЭС. Камская ГЭС проводит оснащение

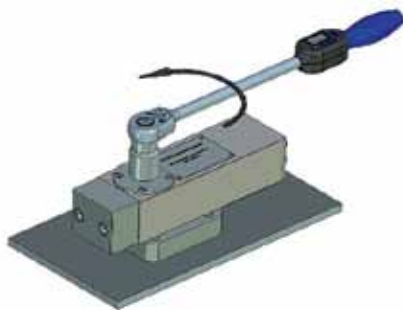


Рис. 12. Центробежный выключатель ПРУ с ключом динамометрическим

гидроагрегатов противоразгонными устройствами в соответствии с программой ПАО «РусГидро» на 2020–2021 годы.

Простоту в обслуживании, надежность данного устройства по результатам многолетней эксплуатации подтверждают положительные отзывы эксплуатантов.

Заключение

В типовой объем работ по модернизации систем защиты гидравлических турбин от разгона, предлагаемых ООО «НВФ СМС», входят:

- ▶ обследование объекта защиты;
- ▶ подготовка комплекта конструкторской документации для производства ПРУ;
- ▶ расчет характеристик ЦВ;
- ▶ испытания и настройка ПРУ на специализированном испытательном стенде ООО «НВФ СМС» с оформлением протоколов на каждое устройство;
- ▶ монтаж ПРУ на объекте;

▶ сдаточные испытания заказчику. ПРУ 2000/750 второго поколения обладает рядом преимуществ, качественно отличающих его от известных аналогичных разработок:

- ▶ проверка настройки ЦВ перед установкой на объект с помощью ключа динамометрического;
- ▶ проверка настройки ЦВ после ремонта с установленной периодичностью с помощью ключа динамометрического;
- ▶ проверка настройки ЦВ на работающем ГА без разгона до (пред) критических оборотов с помощью груза дополнительного проверочного;
- ▶ два отдельных гидравлических канала для работы с давлением от различных источников;
- ▶ два гальванически развязанных канала;
- ▶ возможность монтажа ЦВ на обод либо на измеритель частоты вращения типа зубчатое колесо.

В. И. Аболмасов,
зам. технического директора,
А. А. Сидоров,
технический директор,
К. О. Косолапов,
инженер 1-й категории,
А. В. Кузнецов,
начальник отдела,
М. А. Архипов,
начальник ОТК и ЭТЛ,
Группа компаний «СМС-Автоматизация»,
г. Самара,
тел.: +7 846 993-8383
e-mail: info@sms-a.ru,
сайт: sms-a.ru



vk.com/journal_isup
ВКонтакте



facebook.com/isup.ru
Фейсбук



zen.yandex.ru/isup
Яндекс.Дзен

Все статьи в свободном доступе