

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
И. Ю. Погоняйченко
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

13.04.02 - Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 - Гидроэлектростанции

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НА
НАЛИЧИЕ ПРОТЕЧЕК В КОРПУСЕ ПОВОРОТНО-ЛОПАСТНОГО
РАБОЧЕГО КОЛЕСА**

Руководитель	_____	Доцент кафедры ГГЭЭС Саяно- Шушенского филиала СФУ	<u>В.И. Татарников</u>
	подпись, дата	должность	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>А.И. Полежаева</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	Главный инженер АО «Гидроремонт-ВКК»	<u>Е.В. Кондратцев</u>
	подпись, дата	должность	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>А.А. Чабанова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2018

АННОТАЦИЯ

Тема магистерской диссертации: Предложения по автоматизации системы контроля на наличие протечек в корпусе поворотного-лопастного рабочего колеса.

Объем диссертации составляет 53 страницы, содержит 15 иллюстраций. Список литературы состоит из 10 наименований.

Объектом исследования при написании работы послужили поворотные-лопастные гидротурбины.

Целью работы является предложение решения по автоматизации системы контроля на наличие протечек в корпусе рабочего колеса поворотной-лопастной гидротурбины.

Научная новизна. В данной работе предложен способ контроля за протечками в корпусе поворотного-лопастного рабочего колеса, внедрение которого поможет улучшить экологическое состояние окружающей среды.

Ключевые слова: гидроагрегат, поворотное-лопастное рабочее колесо, «экологически чистая» гидротурбина, оптоволоконный кабель, оптический датчик, оптико-электрический преобразователь.

В магистерскую диссертацию входят: введение, три главы и заключение.

Во введении раскрывается актуальность исследования по выбранному направлению, указывается его значимость, ставятся цели и задачи, необходимые для её реализации.

Первая глава посвящена общим сведениям о поворотных-лопастных рабочих колёсах.

Вторая глава посвящена выбору способа передачи сигнала из корпуса рабочего колеса на щит управления гидротурбиной.

В третьей главе представлены предлагаемые схемы прокладки кабеля, а также установки датчика и оптико-электрического преобразователя.

Заключение посвящено основным выводам и предложениям по автоматизации системы контроля на наличие протечек в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса.

АВТОРЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Предложения по автоматизации системы контроля на наличие протечек в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса».

Цель работы:

Предложение решения по автоматизации системы контроля на наличие протечек в корпусе рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины путем установки оптического датчика.

Задачи, решаемые в ходе выполнения работы:

- 1) Изучение различных типов конструкций поворотно-лопастных гидротурбин;
- 2) Анализ возможности установки датчика, реагирующего на протечки, в корпус рабочего колеса;
- 3) Предложение по автоматизации системы контроля на наличие протечек.

Объектом исследования при написании работы послужили поворотно-лопастные гидротурбины.

Научная новизна. В данной работе предложен способ контроля за протечками в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса, внедрение которого поможет улучшить экологическое состояние окружающей среды.

Объем диссертации составляет 53 страницы, содержит 15 иллюстраций. Список литературы состоит из 10 наименований.

Основное содержание работы:

Во введении раскрывается актуальность исследования по выбранному направлению, указывается его значимость, ставятся цели и задачи, необходимые для её реализации.

Первая глава посвящена общим сведениям о поворотно-лопастных рабочих колёсах.

Вторая глава посвящена выбору способа передачи сигнала из корпуса рабочего колеса на щит управления гидротурбиной, а также выбору опто-электрического преобразователя.

В третьей главе представлены предлагаемые схемы прокладки кабеля, а также установки датчика и опто-электрического преобразователя.

Заключение посвящено основным выводам и предложениям по автоматизации системы контроля на наличие протечек в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса.

Ключевые слова: гидроагрегат, поворотно-лопастное рабочее колесо, «экологически чистая» гидротурбина, оптоволоконный кабель, оптический датчик, опто-электрический преобразователь.

ABSTRACT

Graduation qualification work on the topic "Proposals for the automation of the control system for the presence of leaks in the housing of the rotary-blade impeller".

Objective:

Proposal of a solution to automate the control system for the presence of leaks in the impeller housing of the rotary-blade hydro turbine by installing an optical sensor.

Tasks solved in the course of the work:

- 1) Study of different types of design of rotary-blade hydraulic turbines;
- 2) Analysis of the possibility of installing a sensor that responds to leaks into the impeller housing;
- 3) Proposal to automate the monitoring system for leaks.

The object of research in writing the work served as rotary-blade hydro turbines.

Scientific novelty. In this paper, a method for controlling leakage in the housing of a rotary-blade impeller is proposed, the introduction of which will help improve the ecological state of the environment.

The volume of the thesis is 53 pages, contains 15 illustrations. The list of literature consists of 10 titles.

The main content of the work:

The introduction reveals the relevance of research in the chosen direction, indicates its importance, sets goals and tasks necessary for its implementation.

The first chapter is devoted to general information about rotary-blade working wheels.

The second chapter is devoted to the choice of the method for transmitting a signal from the impeller housing to the control board of a hydro turbine, and also to choosing an optical-electric converter.

The third chapter presents proposed schemes for cable routing, as well as the installation of a sensor and an optical-electric converter.

The conclusion is devoted to the main conclusions and proposals for the automation of the control system for the presence of leaks in the housing of the rotary-blade impeller.

Key words: hydrounit, rotary-blade impeller, "environmentally friendly" hydraulic turbine, fiber optic cable, optical sensor, optical-electric converter.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Общие сведения.....	11
2 Выбор способа передачи сигнала	27
3 Установка дополнительного оборудования для определения протечек в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса.....	45
Заключение	50
Список использованных источников	51
Приложение А. Технические характеристики OE695G	52

ВВЕДЕНИЕ

В ходе эксплуатации гидроагрегатов на гидроэлектростанциях основной задачей является обеспечение их надежной работы.

Задача обеспечения надежности решается путем профилактических мер контроля и испытаний гидроагрегатов для раннего выявления и устранения дефектов, развитие которых может привести к аварийным отключениям агрегатов. Однако применяемые в настоящее время методы и средства обнаружения дефектов, особенно в режиме реального времени, не имеют достаточной эффективности, так как в них не в полной мере используются современные возможности.

В работе рассмотрены поворотно-лопастные гидротурбины. В случае нарушений в работе уплотнений лопастей они могут нанести непоправимый вред экологии реки. Турбины этого типа могут содержать во втулке рабочего колеса (РК) несколько тонн масла. Количество поворотно-лопастных гидротурбин составляет только в России 300 штук, а в общем объеме установленного гидротурбинного оборудования - не менее 15%.

Основным вопросом, осложняющим эксплуатацию, является возможность протечек масла из рабочего колеса в воду. Устранение возникающих в межремонтный период недопустимых протечек масла требует внепланового вывода агрегатов из эксплуатации для осушки проточной части турбин и проведения ремонтных работ. Простои гидроагрегатов из-за неудовлетворительной герметизации узлов снижают технико-экономические показатели работы оборудования, и изменение этой ситуации возможно при условии создания более эффективных и надежных уплотнений, а также в результате глубокой модернизации эксплуатируемых уплотнительных устройств.

Поэтому автоматизация системы контроля на наличие протечек в корпусе рабочего колеса ПЛ ГТ, полностью исключая попадание масла в реку

является актуальной темой, затребованной Заказчиком гидротурбинного оборудования, службами экологического надзора и общественностью.

Автоматизацию системы контроля над протечками предлагается выполнить на основе оптоволоконного кабеля, по которому передается сигнал с оптического датчика, установленного в корпусе рабочего колеса, на оптико-электрический преобразователь, находящийся в маслоприемнике, после чего сигнал отображается на щите управления гидроагрегатом.

Эта система позволит моментально определить даже незначительные протечки в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса.

1 Общие сведения

Поворотно-лопастные рабочие колеса применяют для осевых и диагональных гидротурбин. Особенностью турбины, обусловившей ее название, является возможность разворота лопастей (которых может быть от 3 до 8 штук). Как правило, в рабочем колесе размещают сервомотор, поршень которого перемещается под давлением масла. Масло в сервомотор поступает от золотника через трубопроводы, маслоприемник и штанги, расположенные внутри вала. Поступательное перемещение поршня через передаточный механизм приводит к повороту лопастей.

Поворотно-лопастные рабочие колеса наиболее эффективны при относительно небольших напорах – от 10 до 80 м; на более низких напорах используются также поворотно-лопастные рабочие колеса, но с горизонтальным валом (ПЛГК).

Поворотно-лопастные турбины относительно молоды – им не исполнилось и ста лет. К началу XX века, в мире использовались два типа гидротурбин: ковшовые на сверхвысоких напорах и радиально-осевые во всех остальных случаях. В то же время, радиально-осевые турбины, рассчитанные на небольшие напоры, имеют очень большие размеры и массу, а соответственно – и стоимость. Поисками более эффективных турбин занимались многие ученые, но успех пришел к инженеру Виктору Каплану, запатентовавшему в 1912 году поворотно-лопастную турбину. Впрочем, на отработку технологии потребовалось еще 10 лет – первая турбина этого типа была установлена на ГЭС в Велме в Нижней Австрии. Во всем мире эти турбины называют «Турбины Каплана». В России большой вклад в исследование рабочего процесса поворотно-лопастных гидротурбин внесли ученые Ленинградского политехнического института: И.Н.Вознесенский, А.Ф.Лесохин, И.Н.Смирнов; в исследование гидравлических процессов в гидротурбинных блоках ГЭС и постановку фундаментальных проблем экологии гидроэнергетики Ю.С.Васильев и М.П.Федоров. Значительные работы по проблемам эффективности, надежности и безопасности

блоков ГЭС выполнены учеными ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева под руководством М.Ф.Складнева, Е.Н.Беллиндера и др.

Поворот лопастей на оптимальный угол позволяет турбине сохранять высокий КПД при изменении других параметров. В то же время, возможности поворотных лопастных турбин ограничены – при высоких напорах они теряют свою эффективность вследствие развития кавитации.

Размеры рабочих колес поворотных лопастных турбин, особенно работающих одновременно на небольших напорах и больших расходах, могут быть очень велики. Так, рабочие колеса турбин Саратовской ГЭС при мощности в 60 МВт и напоре 9,7 м имеют диаметр 10,3 м.

В нашей стране развитию поворотных лопастных турбин уделялось большое внимание. Первые турбины этого типа были установлены на Нижнесвирской ГЭС в 1933 году, две из них работают до сих пор. Турбины позднее построенных Угличской и Жигулевской ГЭС на момент их пуска были крупнейшими в мире.

Одними из крупнейших в мире поворотными лопастными турбинами являются турбины сербско-румынской ГЭС Джердап I на Дунае, изготовленные на Ленинградском металлическом заводе. Их мощность составляет около 200 МВт.

Камера рабочего колеса представляет собой тонкостенную оболочку в форме сферы, сопряженной с цилиндром и оребренной по поверхности, обращенной к бетонному массиву. Точность размеров и форма камеры должны обеспечивать равномерный и весьма малый зазор с лопастями рабочего колеса. Применение с этой целью механической обработки камеры не дало положительного решения, так как требовало листового проката с большой толщиной при низких технико-экономических показателях. В результате опробования нескольких вариантов исполнения решение найдено путем изготовления камер в виде штампованной бесфланцевой конструкции с соединением частей сваркой при монтаже. В качестве материала для торовой

оболочки применяются биметаллические листы без механической обработки поверхности, омываемой водой.

Рекомендуемые к применению в настоящее время варианты поворотнo-лопастных гидротурбин можно разделить на две основные конструктивные схемы: с крестовинным и бескрестовинным механизмом поворота лопастей.

Наиболее распространена конструкция рабочего колеса, в которой поршень сервомотора штоком связан с крестовиной, передающей кривошипно-рычажными механизмами силы для поворота лопастей (рисунок 1). Крестовинная конструкция рабочего колеса является прогрессивной, благодаря большей определенности и надежности работы всех звеньев механизма поворота лопастей. Компактность конструкции позволяет применять ее при повышенных напорах. Однако протечки масла из нижней полости корпуса колеса могут служить причиной необходимости проведения ремонтных работ по наладке уплотнений, причем полностью устранить протечки так и не удастся. Следует отметить, что разборка колеса подобной конструкции на Верхне-Тулomской ГЭС выявила значительный износ бронзовых втулок цапф лопастей, что отрицательно сказалось на работе уплотнений. Уплотнения имеют принцип двойного действия, то есть предназначено для предотвращения попадания воды из проточного тракта гидротурбины в корпус рабочего колеса и для предотвращения попадания масла из корпуса рабочего колеса в проточный тракт гидротурбины.

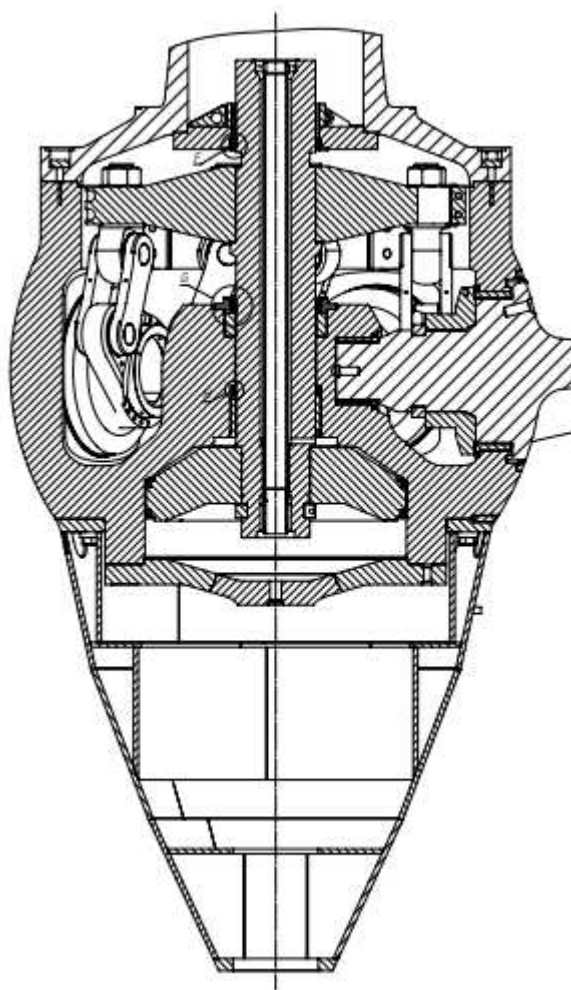


Рисунок 1 – Рабочее колесо крестовинного типа поворотно-лопастной гидротурбины

Широко используют также несколько типов бескрестовинных рабочих колес (рисунок 2), в которых поршень непосредственно через серьгу 8 связан с рычагом лопасти: со стаканами, осуществляющими разделение полости механизма поворота от полости сервомотора; с дифференциальным поршнем, который разделяет пространство внутри корпуса на три полости; с втулкой под давлением, когда полость механизма поворота лопастей является одной из полостей сервомотора. Сверху поршня расположен шток 2, направляемый во втулке, установленной в центре крышки 3 рабочего колеса. К штоку сверху присоединены штанги, по которым в полости сервомоторов подается масло под давлением. Лопастей 10 рабочего колеса прикреплены к цапфам,

поворачивающимся в бронзовых втулках, запрессованных в корпус. На цапфы насажены рычаги 9, к которым болтами присоединены фланцы лопастей.

Вращающий момент от лопастей передается на рычаги через две цилиндрические шпонки. Центробежные силы, возникающие в системе лопасть-цапфа-рычаг, воспринимаются фланцами наружных втулок и замыкаются на корпусе рабочего колеса. Снизу корпус закрыт крышкой и конусом-обтекателем 11. Вся внутренняя полость рабочего колеса заполнена маслом, смазывающим все пары трения. Применение бескостовинных рабочих колес позволило упростить механизм поворота и снизить массу и трудоемкость изготовления.

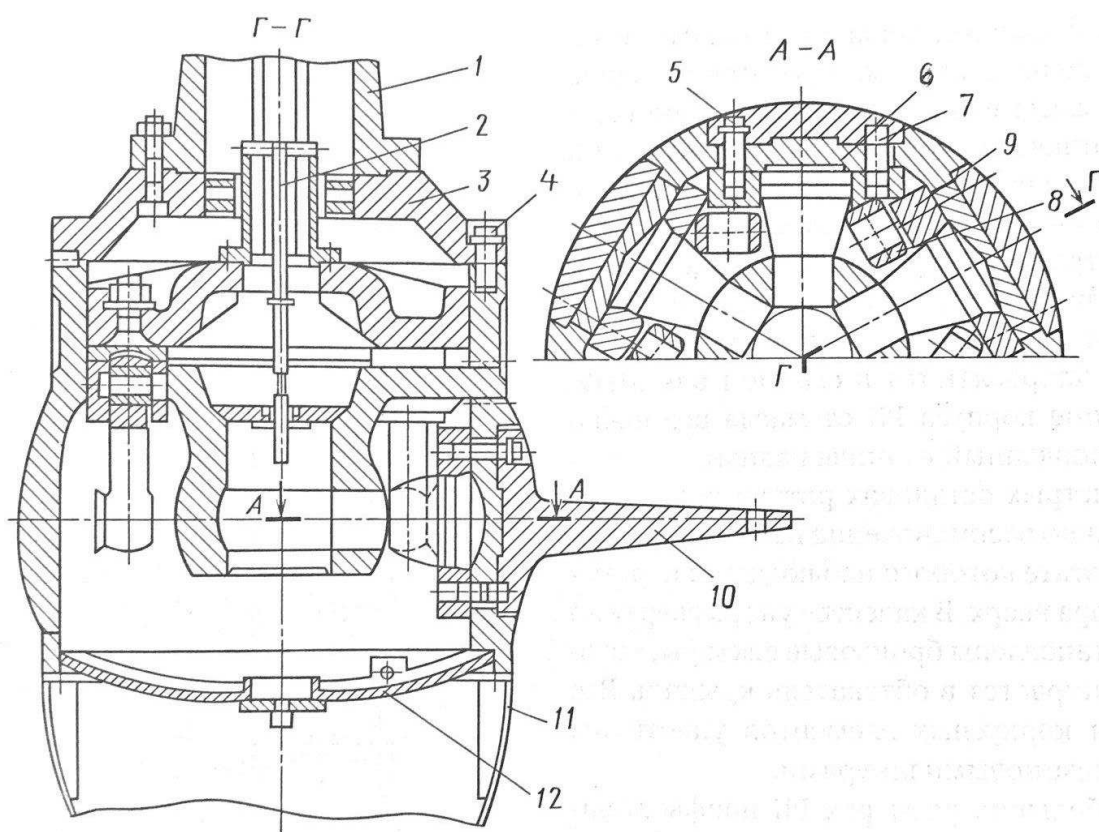


Рисунок 2 – Рабочее колесо бескостовинного типа поворотно-лопастной гидротурбины

Между фланцами лопастей и корпусом рабочего колеса предусмотрены манжеты, предотвращающие протечки масла из корпуса и попадание воды во внутреннюю полость корпуса. Крышка рабочего колеса соединена с фланцем

вала болтами. Масло, находящееся внутри корпуса, отводится на слив через центральную трубу, прикрепленную к штоку снизу, во внутреннюю полость вала. Все протечки масла из сервомотора попадают в эту полость и направляются в сливной бак МНУ. Опорожнение корпуса рабочего колеса от масла возможно через установленный в днище клапан.

При быстрых остановах ротора гидроагрегата возможно возникновение насосного режима, в результате которого наблюдается перемещение ротора вверх. В качестве упора сверху на крышке установлены бронзовые секторы, которыми рабочее колесо упирается в обтекатель крышки. Все соединения корпусных элементов уплотнены круглыми резиновыми шнурами.

Для слива масла из полостей рабочего колеса при его ремонте предусматривают специальный клапан, расположенный в нижней части конуса-обтекателя. Чтобы избежать при работе турбины протечек масла из втулки через зазоры между цапфами и корпусом в камеру рабочего колеса, а также проникновения воды через эти же зазоры внутрь корпуса, по периферии фланца лопасти устанавливают специальные уплотнения (рисунок 3), которые при ремонте или ревизии могут быть сняты и заменены без демонтажа лопасти.

Наиболее удачное уплотнение показано на рисунке 4. К фланцам 1 лопасти прикрепляются болтами стальное кольцо 11, а к втулке рабочего колеса – кольцо 7, уплотненные от протечек резиновым шнуром. Между подвижным 11 и неподвижным 7 кольцами образуется узкая щель, уплотняемая манжетами, которые с внутренней стороны подпираются нажимным кольцом 4, прижимаемым пружинами 5. Кольцо 4 может перемещаться в направлении оси лопасти, сжимая пружины. С наружной стороны манжеты плотно поджаты неподвижным кольцом 9.

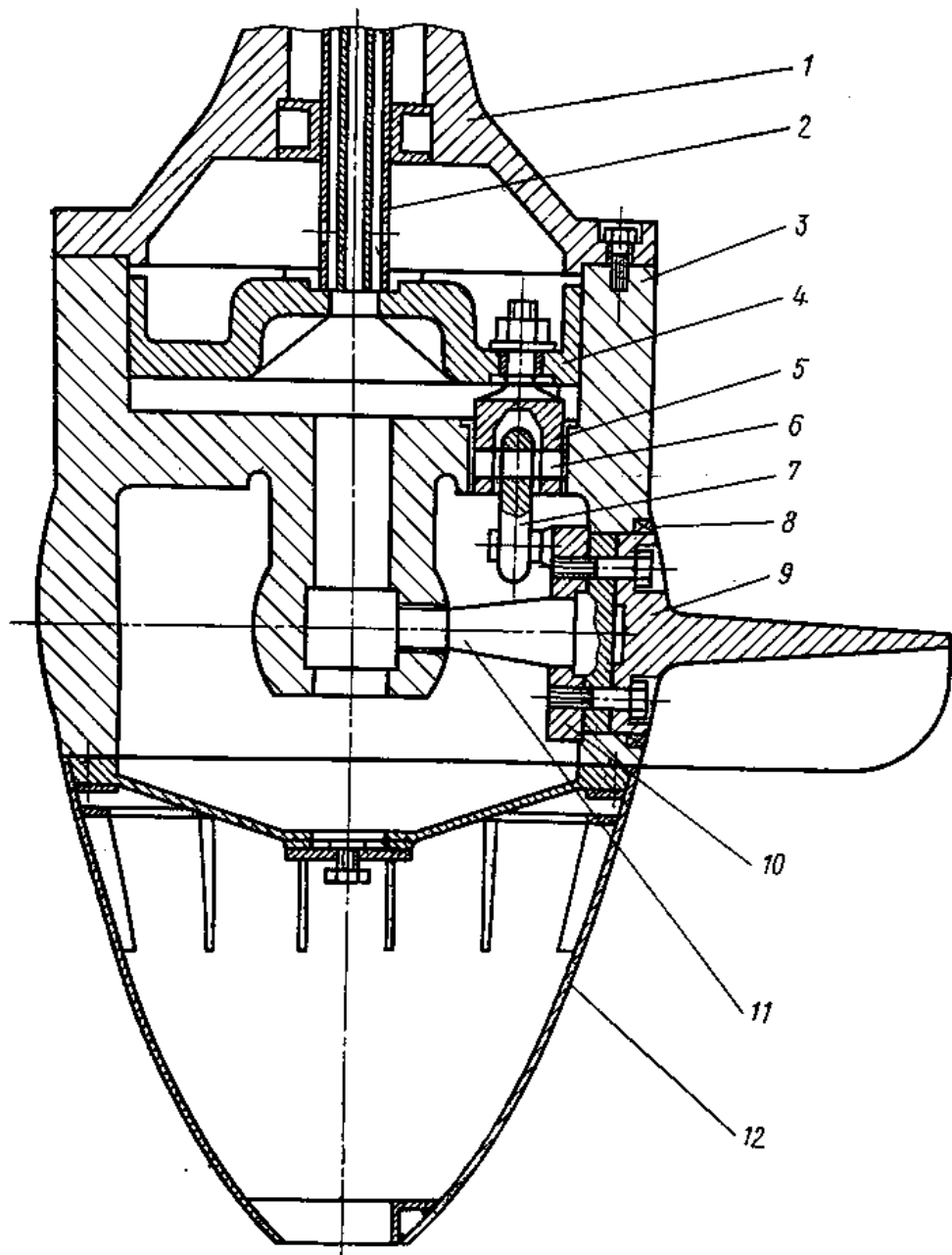


Рисунок 3 – Рабочее колесо поворотно-лопастной турбины

1 – вал турбины, 2 и 3 – штанга и втулка рабочего колеса, 4 – поршень, 5 – проушина, 6 – цилиндрический палец, 7 – серьга, 8 – уплотнение цапфы лопасти рабочего колеса, 9 – лопасть, 10 – рычаг, 11 – цапфа лопасти, 12 – конус-обтекатель

Между двумя группами манжет устанавливают промежуточное профильное распорное кольцо 10. Благодаря кольцам 9 и 4 манжеты плотно

прижимаются к поверхности А и внутренней поверхности кольца 7, уплотняя от протечек масла кольцевую щель.

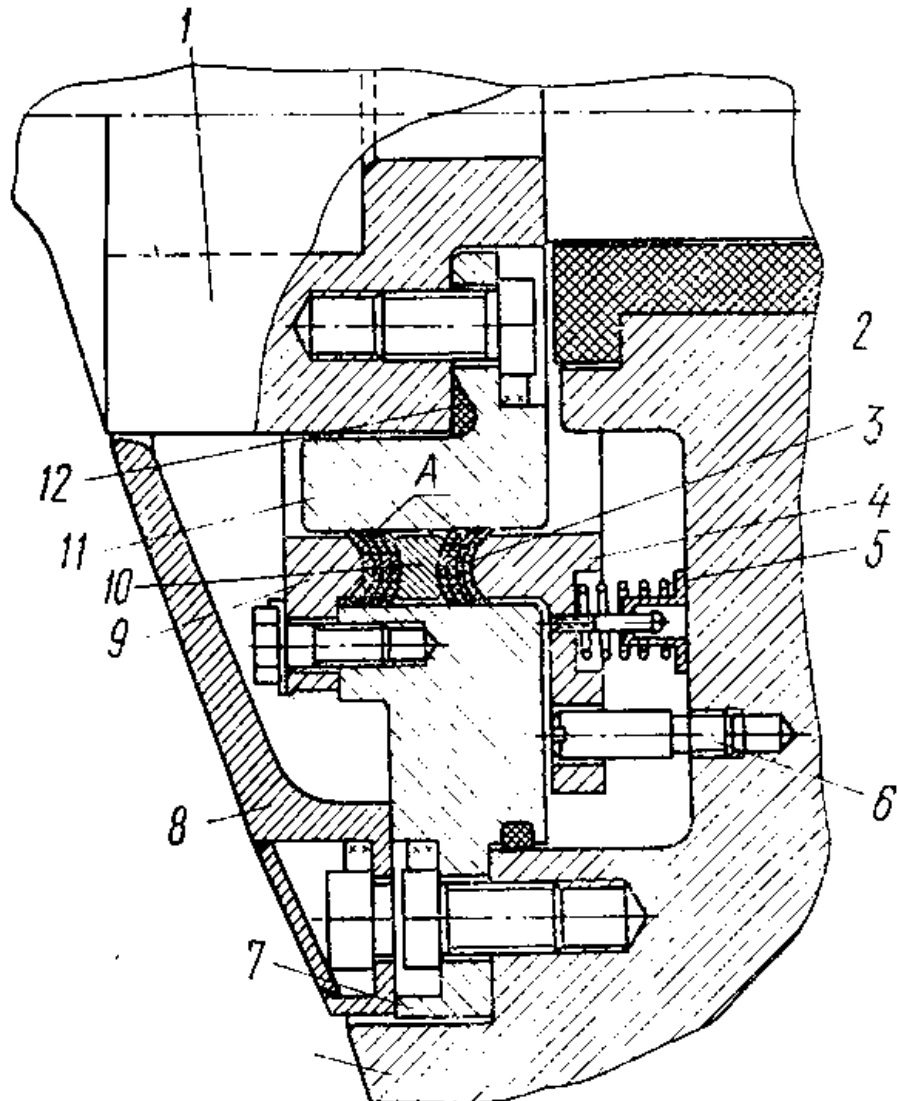


Рисунок 4 – Уплотнение цапфы лопасти поворотно-лопастной турбины
1 и 11 – фланец и кольцо лопасти, 2 – бронзовая втулка цапфы лопасти, 3 –
резиновое кольцо уплотнения, 4 и 9 – внутреннее и наружное нажимные
кольца, 5 – пружина, 6 – направляющий штифт, 7 – кольцо втулки рабочего
колеса, 8 и 10 – облицовочное и промежуточное кольца, 12 – уплотнительный
шнур

Подвод масла под давлением от системы регулирования к сервомотору рабочего колеса турбины и отвод отработанного масла из сервомотора в сливной бак маслонапорной установки осуществляется через маслоприемник и штангу.

Существует несколько конструкций маслоприемника. Одна из них используется с гидромеханическим регулятором частоты вращения, генератор электропривода которого установлен на маслоприемнике и связан непосредственно с валом гидроагрегата (рисунок 5).

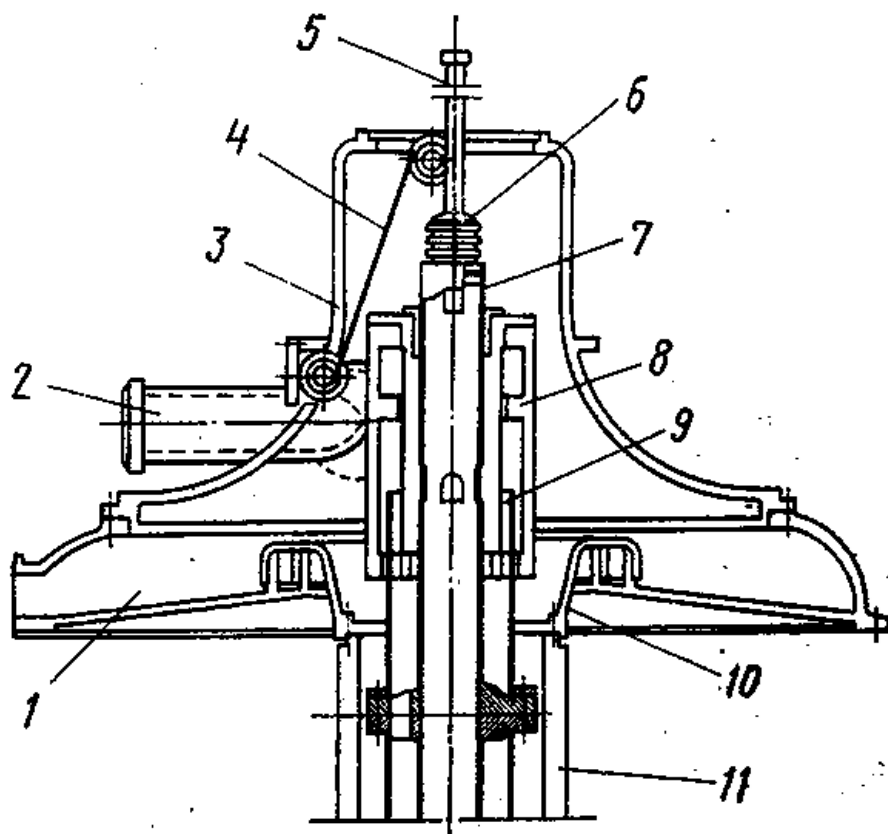


Рисунок 5 – Маслоприемник

1 – ванна, 2 – патрубки присоединения напорно-сливных труб, 3 – корпус, 4 – выключающая передача, 5 – шлицевой валик привода регуляторного генератора, 6 – траверса, 7 и 9 – внутренняя и наружная штанги, 8 – бокса корпуса, 10 – маслоотражательное кольцо, 11 – надставка вала

Маслоприемник состоит из нижней ванны 1, соединенной маслопроводом со сливным баком маслонапорной установки, и корпуса с патрубками 2 для присоединения напорных масляных труб к напорно-сливным камерам. На напорном патрубке установлен манометр. Внутри нижняя ванна имеет горловину, к которой подходит маслоотражательное кольцо 10, установленное для предотвращения протечек масла из резервуара. Горловина штанги направляется втулками внутрь боксы 8 корпуса. Сверху к горловине штанги

присоединяют через два шарикоподшипника траверсу 6 обратной связи (в данной конструкции выполненную в виде тросовой передачи 4), которая, перемещаясь со штангами, служит приводом обратной связи с золотником рабочего колеса регулятора. Ролик передачи закрепляют на кронштейне корпуса маслоприемника. К траверсе крепят также указатель положения лопастей рабочего колеса. В головку траверсы входит шлицевой валик 5, на который насажен ротор регуляторного генератора.

Штанга рабочего колеса состоит из наружной 9 и внутренней 7 стальных труб, приваренных к фланцам со сквозными отверстиями для прохода масла. При работе турбины в маслоприемнике и внутренней части вала образуются три отдельные масляные полости. Безнапорная полость между валом и наружной частью штанги соединяется со сливной камерой маслоприемника и служит для приема и отвода протечек масла из корпуса рабочего колеса. Через полость между наружной и внутренней трубами штанги масло поступает под давлением под поршень сервомотора, а через полость внутренней трубы штанги подается в полость над поршнем сервомотора. Наверху напорно-сливные полости соединяются с соответствующими напорно-сливными камерами маслоприемника, к которым масло подается трубами от распределительного золотника рабочего колеса регулятора частоты вращения.

При небольших размерах рабочего колеса цапфы лопастей выполняют как одно целое с лопастями, что несколько упрощает конструкцию.

В случае нарушений в работе уплотнений лопастей поворотные лопастные турбины могут нанести непоправимый вред экологии реки. Турбины этого типа могут содержать во втулке рабочего колеса (РК) несколько тонн масла. Количество поворотных гидротурбин составляет только в России 300 штук, а в общем объеме установленного гидротурбинного оборудования - не менее 15%.

В процессе эксплуатации гидротурбин, многочисленные узлы трения которых снабжены труднодоступными уплотнениями, достаточно сложно исключить утечки смазочных материалов. Наиболее проблемным в этом

отношении объектом и является маслonaполненное рабочее колесо поворотно-лопастного типа, в узлах уплотнения лопастей которого допускаются утечки турбинного масла в нижний бьеф, что не только сопряжено с прямыми финансовыми потерями ГЭС, но и негативно отражается на экологии рек, так как в условиях проведения холостых сбросов избытка воды, а также при нехватке мощности генерирующих источников нередки случаи вынужденной работы агрегатов с повышенными утечками масла в воду.

Основным вопросом, осложняющим эксплуатацию, является возможность протечек масла из рабочего колеса в воду. Из опыта эксплуатации гидротурбинных энергетических установок следует, что до 5% всех аварийных остановов гидроагрегатов связано с нарушением герметичности уплотнений гидротурбин. Устранение возникающих в межремонтный период недопустимых протечек масла требует внепланового вывода агрегатов из эксплуатации для осушки проточной части турбин и проведения ремонтных работ. Простои гидроагрегатов из-за неудовлетворительной герметизации узлов снижают технико-экономические показатели работы оборудования, и изменение этой ситуации возможно при условии создания более эффективных и надежных уплотнений, а также в результате глубокой модернизации эксплуатируемых уплотнительных устройств.

Утечки масла также могут быть из системы МНУ. Маслонапорная установка предназначена для снабжения регулятора скорости маслом под давлением. За счёт энергии масла происходит перемещение регулирующих органов. В системе регулирования, а также в ваннах подпятника и генераторного подшипника применяется масло. Масляный бак утечки снабжен одним постоянно действующим измерителем уровня и одним дискретным. Если по какой-либо причине уровень масла в баке упадет ниже предельно низкого значения (контрольная точка дискретного реле уровня), дается предупреждение. Кроме того, масляный насос утечки отключатся для предотвращения работы без жидкости. При утечке масла из системы МНУ произойдет падение давления в котле. Для определения причины уменьшения давления в первую очередь

необходимо проверить отсутствие утечек воздуха и масла из системы регулирования, проверить работоспособность насосов МНУ.

Несмотря на значительный прогресс в области развития герметичных материалов и многообразие известных конструктивных решений, проблема обеспечения длительного безотказного функционирования уплотнений гидротурбин является чрезвычайно актуальной.

По результатам обследования более 40 крупных гидротурбин и обобщения опытных данных было установлено, что потери масла в среднем за год могут составлять до 13% общего объема масла в системе регулирования.

Радикальное решение проблем, связанных с утечками масла из гидроагрегатов, возможно в результате их переоснащения с заменой находящихся в эксплуатации поворотно-лопастных гидротурбин на турбины, снабженные так называемыми "экологически чистыми" рабочими колесами (рисунок 6).

В этом случае несколько изменена конструкция механизма поворота лопастей. Поршень 3 сервомотора закреплен на штоке 11, который проходит вниз в полость корпуса. Внизу на штоке закреплена крестовина 9, от которой с помощью серег усилие для поворота лопастей передается на рычаги 4. Вся полость рабочего колеса, в которой расположен механизм поворота, заполнена водой. Шток уплотнен от протечек масла по нему из полости сервомотора. На фланцах лопастей установлены резиновые уплотнения, которые только защищают полость рабочего колеса от загрязнения. Детали механизма поворота лопастей в этой конструкции должны быть изготовлены из коррозионно-стойких материалов или хорошо защищены от коррозии соответствующими покрытиями. Это необходимо как для предотвращения износа в парах трения, так и для обеспечения коррозионной прочности деталей.

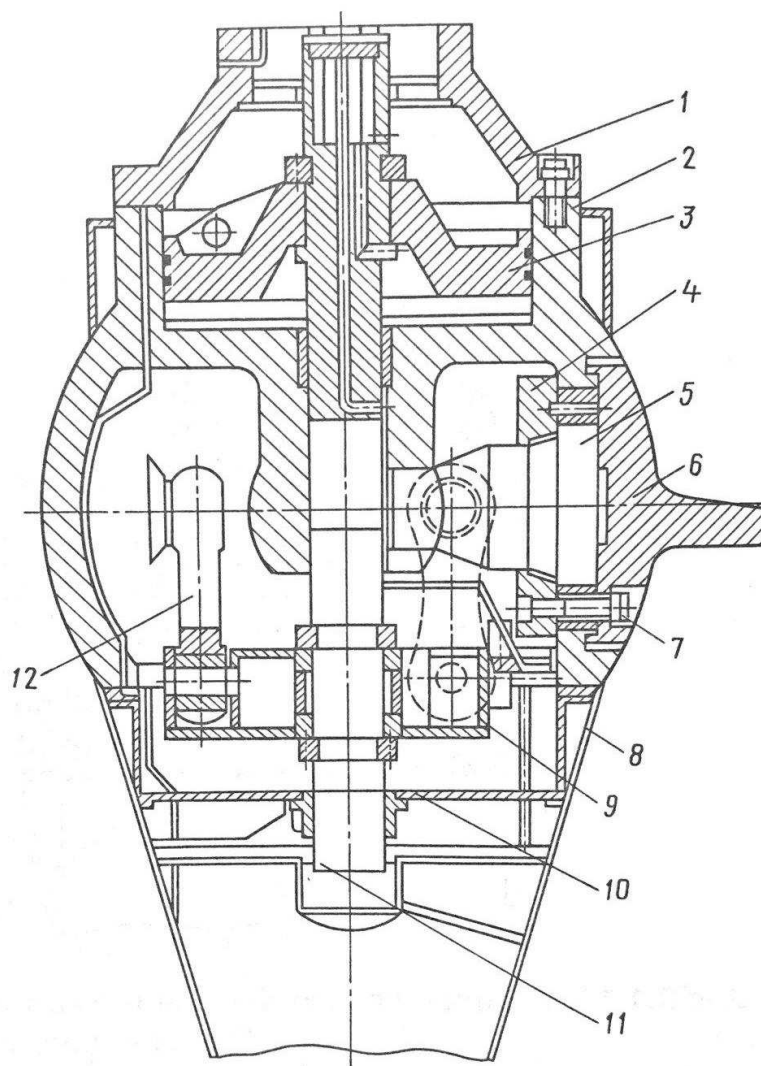


Рисунок 6 – «Экологически чистое» рабочее колесо поворотно-лопастной гидротурбины

Во всех подшипниках скольжения и упорных планках и кольцах механизма поворота лопастей изначально при испытаниях были использованы вкладыши, выполненные из углестеклоэпоксидной композиции (УСЭК). После проведения испытаний других самосмазывающихся материалов наибольшее распространение получил бронзофторопласт (БФ). Для обеспечения коррозионно-усталостной прочности основные звенья механизма поворота лопастей изготовлены из нержавеющей стали. Поверхности цапфы, контактирующие с подшипниками, облицованы нержавеющей сталью. Антифрикционные втулки подшипников являются основным элементом, обеспечивающим необходимые трибомеханические свойства и надежность

механизма поворота лопастей. На основании опыта эксплуатации и особенностей технологии изготовления разработан ряд конструкций втулок в зависимости от применяемых антифрикционных материалов.

Корпус рабочего колеса снизу закрыт обтекателем с днищем, в котором расположена нижняя опора штока. В днище находятся люки с откидывающимися крышками для доступа в зону механизма поворота лопастей и сливной клапан для слива воды. В обтекателе имеется кольцевые поручни, которые используются как лестница и как опоры для настилов при осмотрах и ремонтных работах.

Штанги рабочего колеса предназначены для подвода масла из маслоприемника в сервомотор рабочего колеса и расположены внутри вала турбины. Конструктивно штанги представляют собой две трубы, расположенные одна в другой, разделенные по высоте на 3 части, которые соединяются между собой при помощи фланцев и болтов. Штанги нижним фланцем крепятся к штоку рабочего колеса, а верхним - к фланцу штанг маслоприемника.

При развороте лопастей рабочего колеса на открытие, масло из маслоприемника под давлением поступает в сервомотор в зону под поршень по внутренней трубе штанг. Одновременно из противоположной полости сервомотора происходит слив масла через зону, образуемую внутренней и наружной трубами штанг.

При развороте лопастей на закрытие масло под давлением поступает в сервомотор в зону над поршнем через канал, образуемый внутренней и наружной трубами штанг, а из противоположной полости сервомотора по внутренней трубе штанг масло на слив поступает в маслоприемник и далее в сливной бак МНУ.

В нижней и верхней полости цилиндра РК, в зоне работы поршня, предусмотрены резьбовые отверстия для проведения гидроиспытаний РК и слива масла (при необходимости опорожнения масляного тракта системы регулирования).

Крышка РК посредством фланцевого соединения стыкуется с валом турбины. Конструкция фланцевого соединения обеспечивает передачу максимального осевого усилия и крутящего момента, действующего на соединение. Количество болтов соответствует количеству отверстий в заготовке вала турбины, приходящего со станции для модернизации. Наружные и внутренние поверхности деталей РК, выполненные из углеродистой стали и контактирующие с водой, защищены специальными антикоррозионными покрытиями.

Преимущества от внедрения таких рабочих колес:

- увеличение долговечности опорных узлов;
- повышение экологической безопасности оборудования;
- снижение затрат и сроков капитальных ремонтов;
- упрощенная схема демонтажа и повторного монтажа составных частей

гидротурбины.

Такие гидротурбины установлены на ряде крупнейших ГЭС России: на Волжской, Жигулевской ГЭС, Чебоксарской, Рыбинской и др. ГЭС, а также за границей (ГЭС Утанен, Финляндия). Поэтому в условиях перехода от выполнения планово-предупредительных ремонтов гидротурбинного оборудования к так называемым "ремонтам по техническому состоянию" (что связано с необходимостью проведения неотложных ремонтно-восстановительных работ в условиях дефицита времени и финансовых средств) наиболее реальным в плане возможной реализации является проведение модернизации существующих штатных уплотнений поворотно-лопастных гидротурбин, обеспечивающей повышение эффективности и надежности маслоудержания и, в конечном итоге, обеспечивающей увеличение межремонтного срока службы уплотнительных устройств, но при этом не связанной с внесением значительных изменений в конструкцию эксплуатируемого гидротурбинного оборудования.

По причине «острого» обсуждения экологической обстановки в нашей стране на заседании комиссии по модернизации и технологическому развитию энергетики Российской Федерации были озвучены пять наиболее важных проектов в области сохранения окружающей природной среды:

- обязательная организация постоянного мониторинга экологической ситуации из космоса;
- развитие, так называемой, «зеленой» энергетики. Уже достигнута договоренность, согласно которой по вопросам «зеленой» энергетики с Россией будет сотрудничать Австрия;
- необходимость замены обычного транспорта на электромобили или автомобили с гибридным двигателем, что поможет значительно уменьшить количество вредных выбросов в атмосферу;
- необходимость инвестиций в энергосберегающие и природоохранные объекты;
- создание и совершенствование систем безопасности ядерных реакторов.

Согласно 26 главе Уголовного Кодекса Российской Федерации взимаются штрафы за несоблюдение экологических требований при осуществлении градостроительной деятельности и эксплуатации предприятий, сооружений или иных объектов.

Организации должны платить за:

- выброс в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников;
- сброс загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты;
- размещение отходов;
- другие виды вредного воздействия (шум, вибрация, электромагнитные и радиационные воздействия и т. п.).

2 Выбор способа передачи сигнала

При появлении необходимости создания системы контроля на наличие протечек в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса возникает проблема в выборе типа датчика.

Одним из самых распространенных способов передачи связи является радиосигнал. Он распространяется от антенны передающей станции к антенне приемной. Передача радиосигнала осуществляется благодаря нескольким факторам. Сигнал, подаваемый на антенну, характеризуется амплитудой, частотой и фазой. За счет изменения этих параметров можно посредством радиосигналов передавать информацию. Амплитуда определяет интенсивность радиочастотного сигнала. Мерой амплитуды является количество энергии, необходимой для преодоления сигналом определенного расстояния. Если мощность возрастает, то увеличивается и дальность связи. Передача радиосигнала происходит через воздушную среду, что обуславливает уменьшение его амплитуды. В случае отсутствия препятствий радиосигналы испытывают потери в свободном пространстве, они являются одной из причин затухания сигнала, и передача радиосигнала теряет прежнее качество. Амплитуда сигнала уменьшается экспоненциально по мере увеличения расстояния между передатчиком и приемником. Экспоненциальное затухание сигнала вызывает атмосфера, если он распространяется достаточно далеко от антенны. Следовательно, сигнал должен обладать достаточной мощностью для того, чтобы преодолеть нужное расстояние и иметь после этого уровень, достаточный для выделения его из шумов приемным устройством. Способность приемника улавливать сигнал зависит и от наличия других радиочастотных сигналов. Иными словами, для повышения качества передачи сигнала необходим усилитель радиосигнала. Функция усилителя заключается в увеличении мощности радиостанции, подводимой к внешней антенне, без искажений в самой структуре сигнала. Усилитель радиосигнала вносит изменения в характеристику аппаратуры только при работе на передачу. Чувствительность радиостанции

ограничена не усилением, а уровнем шумов (как собственных, так и эфирных), т.е. способностью выделять полезный сигнал на фоне помех. Усилитель радиосигнала включается в разрыв антенного кабеля, т.е. между радиостанцией и внешней антенной и подключается толстыми проводами к мощному источнику питания. Длина высокочастотного коаксиального кабеля, соединяющего радиостанцию и усилитель, может быть любая. Специалисты рекомендуют применять усилитель радиосигнала с выходной мощностью 100 - 200 Вт. Антенна, подключенная к усилителю, должна быть хорошо настроена и содержаться в порядке, тогда можно будет не опасаться за дальнейшее состояние усилителя. Важной характеристикой усилителя радиосигнала является фаза. Она соответствует тому, насколько далеко сигнал отстоит от какой-то исходной точки. Изменение фазы может быть использовано для передачи информации. Так, сдвиг фазы сигнала на 30 градусов можно представить как двоичную 1, а сдвиг фазы на 60 градусов — как двоичный 0. Важным преимуществом представления данных в виде сдвигов фазы является снижение влияния затухания сигнала при его распространении через среду. Затухание обычно влияет на амплитуду, а не на фазу сигнала.

Невозможность установки датчика, основанного на передаче радиосигнала, в корпус рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины заключается в наличии так называемой антенны. Так как любая гидротурбина поворотно-лопастного типа содержит турбинное масло, то наличие электрического тока в ней недопустимо. По этой причине такой способ передачи связи как радиосигнал не может быть использован во вращающейся части гидроагрегата.

Альтернативным вариантом передачи сигнала является оптоволоконная связь. Оптоволоконно- одно из самых современных и надежных сред передачи данных при прокладке и настройке линий волоконной связи. Она представляет собой многопарный кабель, состоящий из жил, обернутых в специальную оплетку. Жилы производятся из специального полимера - и сделаны таким образом - что ее "стенки" получаются идеально гладкими.

Передача данных в оптоволокне производится с помощью света - как известно - одной из самых быстрых материй во Вселенной. Электрический сигнал медного кабеля проходит через специальный конвертер и превращается в свет. Каждая жила оптики подобна стеклянной трубе в зеркальной трубе. Свет, проникая в нее, отражается от стыка границ жил жилы и летит дальше, после чего он принимается приемным устройством и обратно перекодируется в электрический сигнал.

Тем не менее, передача данных по оптоволокну осуществляется медленнее скорости света (~1млрд.км/ч). По причине того, что микролазеры, использующиеся для передачи света по оптоволокну, не производят свет с такой скоростью. А также по причине потерь в результате преломления лучей.

Оптоволокно используется во многих сферах промышленности - равно как и в быту. Во-первых, оптический кабель является диэлектриком, что делает его безопасным при передаче данных на нефтепроизводствах и других взрывоопасных объектах. Во-вторых, по этой же самой причине оптика крайне незначительно накапливает статическое электричество. Величины настолько малы, что их принято не учитывать. Соответственно, оптоволоконные кабели могут использоваться в сетях на различных объектах, связанных с высокими напряжениями.

Оптико-волоконные кабели при использовании специальных оболочек могут быть уложены в воду, в землю в агрессивную среду.

На границе возможностей оптического кабеля ставится специальное устройство - репитер, увеличивающий расстояние на очередную длину. При соединении оптоволокон используются оптические муфты, в которых волокна свариваются между собой.

Принцип системы оптической связи заключается в передаче сигнала через оптоволокно к удаленному приёмнику. Электрический сигнал преобразуется в оптический и в таком виде передаётся на расстояние. В приёмном устройстве он обратно переходит в исходную электрическую форму. У волоконно-оптической

связи есть множество преимуществ перед другими типами передачи информации, такими как медные жилы и системы радиосвязи.

- Сигнал может быть передан без регенерации на большое расстояние (200 км);
- Оптоволоконная передача не чувствительна к электромагнитным помехам. Кроме того, волокно не проводит электричество и фактически нечувствительно к радиочастотной интерференции;
- Оптические системы обеспечивают большее количество каналов, чем физические цепи;
- Оптический кабель намного легче и тоньше чем кабель с металлическими жилами и волокна занимают в нём небольшой объём. Например, один оптоволоконный кабель может содержать 144 волокна;
- Оптическое волокно очень надёжно;
- У оптического волокна срок эксплуатации больше 25-и лет (по сравнению с 10 годами систем спутниковой связи);
- Рабочие температуры для оптического волокна изменяются, но они обычно они лежат в диапазоне от -40° до $+80^{\circ}\text{C}$;

В настоящее время интенсивными темпами ведутся разработки волоконно-оптических информационно-измерительных систем, отличающихся повышенной искро-, взрывобезопасностью и помехозащищённостью, требующие определенной номенклатуры волоконно-оптических датчиков. Основное преимущество волоконно-оптических датчиков перед электрическими обусловлено, прежде всего, их естественной сопрягаемостью с волоконно-оптическими средствами передачи информации и лучшими возможностями объединения их в ИИС. Внедрение волоконно-оптических ИИС необходимо для решения задачи уменьшения массы измерительных средств и кабельных сетей на борту космических аппаратов и ракетносителей.

Технология оптической передачи является относительно новой по сравнению с технологией передачи по коаксиальному кабелю и в настоящее

время уверенно и активно завоевывает позиции в сфере телекоммуникаций. Это в особенности относится к созданию больших телекоммуникационных систем с интеграцией услуг, где просто невозможно обойтись без использования оптики на транспортных или магистральных направлениях по причине высоких требований к качеству передачи. В настоящее время производится целый спектр оборудования и кабеля для оптических систем передачи. К этому оборудованию относятся головные станции с оптическими передатчиками, оптические приемники и различные вспомогательные оптические приборы, предназначенные для мультиплексирования и демultipлексирования сигналов, ответвления сигналов, фильтрации и других целей. С их помощью система передачи конфигурируется нужным образом для условий конкретного проекта. Активное оптическое оборудование в большинстве случаев нельзя сопоставлять по характеристикам с активным оборудованием коаксиальных систем передачи, так как эти два типа оборудования предназначены для разных архитектурных уровней системы кабельного телевидения, т.е. имеют разные области применения. Оптическое оборудование предназначено для транспортного и магистрального уровней, а коаксиальное - для магистрального и домового уровней.

К активному оборудованию оптических систем передачи относятся оптические передатчики, оптические приемники, оптические усилители (репитеры) и активные ответвители. Рабочая длина волны активного оборудования должна соответствовать длине волны используемого волокна. При этом нельзя забывать о том, что, ширина полосы зависит от протяженности линии передачи. В настоящее время в активном оборудовании используются все три длины волны: 850 нм, 1310 нм и 1550 нм. Оборудование на 850 нм по-прежнему широко используется из-за низкой стоимости излучателей этой длины волны. Одномодовое оборудование на 1550 нм предназначено для протяженных линий высокого качества передачи длиной более 50 км. Волна 1310 нм является промежуточным по цене и качеству вариантом и, поэтому, наиболее популярным. По всем характеристикам лучшим решением является

использование одномодовых волокон и, следовательно, одномодового активного оборудования, хотя многие модели многомодового активного оборудования совместимы с обоими типами волокна. Стоимость одномодового волокна может быть гораздо выше.

Одна из существенных особенностей оптической системы заключается в возможности передачи сигнала на очень большое, по сравнению с коаксиальной системой, расстояние без усиления. Таким образом, в классической схеме оптической системы должен присутствовать только источник оптического излучения, оптический канал передачи и детектор оптического излучения. Однако, оптическая система не используется обособлено. На ее вход подается электрический сигнал головной станции, а к ее выходу, как правило, подключается коаксиальная система передачи. Поэтому источник является преобразователем электрической энергии в оптическую, а детектор является преобразователем оптической энергии в электрическую. Таким образом, оптический источник является своеобразным модулятором, переносящим электрический сигнал на несущую частоту оптического диапазона для передачи по волокну, а оптический детектор - демодулятором, выполняющий обратное преобразование частоты. Такой принцип используется в аналоговых оптических системах. В цифровых оптических системах, кроме этого, сигнал перед подачей на модулятор кодируется определенным методом для представления сигнала в виде последовательности импульсов, а на приемной стороне, соответственно, декодируется. Комбинация оптического источника с различными электрическими устройствами усиления и преобразования сигнала называется оптическим передатчиком, а комбинация оптического детектора с аналогичными электрическими устройствами на приеме называется оптическим приемником. В качестве источника и детектора оптического излучения используются различные полупроводниковые приборы, а оптический канал организуется с помощью одномодового или многомодового оптического волокна.

Оптический передатчик является одним из элементов центральной головной станции, а оптический приемник является основным элементом

узловой (подголовной) станции. Оптические приемники монтируются в специально оборудованных помещениях и также снабжаются питанием, как и обычные высокочастотные усилители. Жесткое ограничение на количество широкополосных усилителей в каскаде распределительной сети (не более трех) объясняется требованиями к суммарным искажениям на выходе распределительной сети при условии включения достаточно большого числа усилителей в магистральном каскаде. В системах с оптической магистралью ситуация становится проще. Если магистральная сеть проектируется на основе оптического волокна, то распределительные усилители могут обеспечивать высокое усиление и распределительная сеть в целом может обслуживать более широкую зону покрытия благодаря тому, что количество источников шума и интермодуляции в системе мало (один оптический передатчик, один оптический приемник и три распределительных усилителя). Поскольку количество приборов мало, вклад каждого из них в общий шум и интермодуляцию может быть чуть большим.

Оптический усилитель, согласно определению стандарта EN 50083, это прибор для направленного усиления оптических сигналов. Он состоит из соединителей и активной среды, которая усиливает оптический сигнал без демодуляции. Оптические усилители первого поколения были основаны на преобразовании света в электрический сигнал, усилении его в электрическом виде и обратном преобразовании в свет. Каждая из этих трех операций вносит свою долю шума и искажений, что резко снижало качество передачи. Появление оптических усилителей на основе легированных эрбием световодов, коэффициент усиления которых может достигать 30 дБ, открыло новые возможности для построения систем оптической связи. Однако, усилители в оптических линиях кабельного телевидения используются редко, поскольку в этом, как правило, нет необходимости. Современные оптические волокна обладают высочайшим качеством передачи, например, одномодовое волокно с рабочей длиной волны 1550 нм позволяет передать сигнал на расстояние более 50 км. Для создания транспортной или магистральной линии передачи сети КТВ

этого более чем достаточно. Действительная потребность в оптическом усилении возникает на транспортных линиях глобальных телекоммуникационных сетей, протяженность которых достигает сотен и тысяч километров. Примерами являются трансатлантическая линия ТАТ-8 (США - Европа), тихоокеанская линия ТРС-3 (США - Гавайские острова - Япония), глобальное оптическое кольцо Япония - Сингапур - Индия - Саудовская Аравия - Египет - Италия.

Системы передачи, в которых сигнал передается как по оптическому волокну, так и по коаксиальному кабелю с усилением, называются гибридными. Общие термины, используемые в тех и других сегментах гибридной системы для определения шума и интермодуляции, позволяют методом комбинирования находить показатели качества передачи во всей системе. Большинство систем кабельного телевидения, в настоящее время являются широкополосными. Поскольку оптические системы как высокочастотные коаксиальные системы, могут использовать и цифровую модуляцию, и аналоговую, можно постепенно включать оптические звенья в существующую коаксиальную систему кабельного телевидения для увеличения ее полосы пропускания. В действительности эволюция кабельных систем в сторону гибридных систем, включающих оптические и электрические звенья, кажется довольно естественным продолжением развития систем аналоговой передачи. В случае аналоговой передачи будем проектировать оптическую систему почти тем же образом, что и обычную коаксиальную широкополосную систему. Необходимо рассчитать эффективную ширину полосы оптической системы передачи так, чтобы она была совместима с любым коаксиальным расширением. При этом нужно учитывать линейность характеристик активных приборов, так как это напрямую связано с величиной вносимых этими приборами интермодуляционных искажений. Кроме того, мы, как и раньше, должны учитывать все прочие шумы, которые обычно вносятся терминальным оборудованием.

Оптическое оборудование устанавливается в тех точках гибридной системы, где заканчивается или начинается передача оптического сигнала. Такие точки являются либо окончаниями собственно оптической системы передачи, либо промежуточными точками, находящимися на стыках с коаксиальными звеньями передачи, где требуется переход от оптического сигнала к электрическому. В состав терминального активного оборудования входят устройства двух категорий: электрооптические и чисто электронные. К электрооптическим относятся те приборы, на вход которых подается электрический сигнал, а с выхода снимается оптический сигнал, а также те приборы, на вход которых подается оптический сигнал, а с выхода снимается электрический сигнал. Электрооптическими приборами, используемыми в оптической системе передачи, являются лазерные или светоизлучающие диоды и фотодетекторы различных видов. К электронным компонентам терминального активного оборудования относятся те приборы, которые работают только с электрическим сигналом, например, радиочастотные широкополосные усилители. Обычно в одном блоке обеспечиваются функции обоих компонентов.

Задача проектирования гибридной системы и, в частности, оптической линии решается также в терминах потерь и уровней передачи. При этом стоит обращать внимание не только на качество волокна, но и на качественные характеристики активного оборудования. Оптимальные показатели эффективности детектирования при большой скорости цифрового потока или при большой протяженности системы имеют диоды APD, которые наиболее чувствительны к слабому входному оптическому сигналу. Высокая стоимость и сложность этих приборов может быть в значительной мере компенсирована отсутствием необходимости в дорогих промежуточных оптических репитерах. Однако, на тех расстояниях передачи, которые обычно встречаются в распределительных системах кабельного телевидения, репитеры вообще редко бывают необходимы, а особенности их характеристик не позволяют сделать однозначный вывод о том, что использование этих приборов является удачным решением в любом случае. В случае невысокой скорости передачи, примерно до

50 Мбит/с, даже при использовании многомодового волокна, обладающего значительной модовой дисперсией система передачи не будет иметь строгих ограничений по ширине полосы, пока длина волокна не превысит примерно 40 км. В таком случае значения времени нарастания оптического источника и детектора становятся несущественными. Система со светоизлучающим диодом в качестве источника и pin-диодом в качестве детектора в этих условиях функционирует вполне удовлетворительно. При повышении скорости передачи в первую очередь возникают ограничения по затуханию сигнала. Если установлена длина соединительного волоконно-оптического кабеля или потери в нем, то способом борьбы с потерями остается обеспечение адекватного светового потока от источника в направлении приемника, а также использование более чувствительного детектора на APD. Также можно выбрать волокно с меньшими потерями или с другой рабочей длиной волны или рассмотреть в качестве альтернативного варианта комбинацию лазерного источника и PIN-диода вместо LED-источника и APD-диода.

Стоит сказать несколько слов о тех технологиях, которые применяются в волоконно-оптических линиях передачи. Хотя в оптических линиях применяются и аналоговые, и цифровые технологии передачи, главным образом, они ориентированы на цифровую передачу сигнала, поскольку это позволяет использовать все преимущества оптического волокна как среды передачи и значительно повысить скорость и качество передачи. При аналоговой передаче применяется стандартная процедура частотного мультиплексирования каналов, доставшаяся в наследство от коаксиальных магистралей. При цифровой передаче в разное время применялось три способа. Первый, появившийся в начале 80-х годов, был основан на временном мультиплексировании по технологии PDH (плезиохронной цифровой иерархии). Этот способ применялся в первых цифровых магистралях, которые были тогда коаксиальными, а сейчас применяется все реже. Второй способ цифровой передачи, также основанный на временном мультиплексировании, использует технологию SDH (синхронной цифровой иерархии). Этот способ получил распространение в начале 90-х годов

и широко применяется по сей день. Третьей технологией передачи по оптическому волокну является наиболее новая и перспективная технология волнового мультиплексирования WDM. Пока она распространена недостаточно широко, возможно, в силу сложности оборудования. Различные сетевые службы используют интерфейс физического уровня модели OSI, предоставляемой им транспортной технологией TDM или WDM.

Таким образом, система контроля на наличие протечек в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса будет автоматизирована на основе использования двух различных способов передачи сигнала. Непосредственно в корпусе рабочего колеса будет располагаться датчик уровня жидкости, который помимо своей основной задачи, различает жидкую среду в зависимости от её плотности. Это необходимо для определения вида протечек, так как это может оказаться и вода, и масло. Сигнал с этого датчика будет передаваться по оптоволоконному кабелю вверх вдоль вала до уровня маслоприемника, после чего с помощью преобразователя становится радиосигналом и отображается на щите управления.

Таким устройством является преобразователь оптического сигнала в электрический, содержащий параллельно подключенные к двум общим электрическим шинам, первая из которых является задающим входом преобразователя, фотоячейки, каждая из которых включает последовательно соединенные фоточувствительный элемент и пьезоэлектрический резонатор, каждый из которых имеет отличную от других толщину пьезоэлектрического слоя, причем задающий вход преобразователя является входом широкополосного сигнала, отличающийся тем, что, с целью увеличения точности преобразования путем обеспечения возможности повышения рабочих частот, фотоячейки выполнены на единой полупроводниковой подложке с отверстиями, фоточувствительные элементы выполнены в виде высокочастотных фотодиодов, расположены на одной плоскости с пьезоэлектрическими резонаторами и соединены с ними введенным единым электродом, причем пьезоэлектрический резонатор выполнен в виде

заключенного между тонкопленочными металлическими слоями пьезоэлектрического слоя, расположенного на диэлектрической тонкопленочной мембране, которая прикреплена к краям.

Оптико-электрическими называют преобразователи, в которых измеряемая неэлектрическая величина и выходная электрическая связаны потоком электромагнитного излучения оптического диапазона волн - (300-0,003) мкм. Оптико-электронный преобразователь, как правило, содержит источник излучения, оптический канал и приемник излучения, в котором энергия излучения преобразуется в выходной электрический сигнал.

Источники оптического излучения делятся на тепловые (лампы накаливания) и люминесцентные (газоразрядные лампы, оптические квантовые генераторы-лазеры и светодиоды). Во многих случаях источником излучения является сам объект измерения.

Приемники оптического излучения делятся на тепловые и фотоэлектронные.

Принцип работы тепловых приемников основан на преобразовании энергии излучения в тепловую с последующим ее преобразованием в электрический сигнал. К ним относятся термоэлементы, болометры и пироэлектрики. Термоэлемент - это тонкий металлический диск с зачерненной поверхностью, которой касается рабочий спай термопары (диск под воздействием лучистой энергии нагревается). В болометрах используется изменение электрического сопротивления зачерненной тонкой полоски из проводникового или полупроводникового материала под действием повышения температуры, вызванного облучением. Пироэлектрик - это кристалл, электрическая поляризация которого изменяется при повышении температуры, вызванном поглощением падающего на него излучения.

Преобразование оптического сигнала в электрический осуществляется фотоприемниками, использующими различные физические эффекты. Фотоэлектрические приемники излучения делят на две группы - фотоэлектрические приемники на основе внутреннего фотоэффекта и

фотоэлектрические на основе внешнего фотоэффекта. Действие фотоэлектрических приемников излучения основано на изменении электронной структуры вещества при его облучении. Основными типами таких приемников являются фотоэлементы, фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, многоэлементные твердотельные приемники излучения.

Внутренним эффектом называют процесс взаимодействия электромагнитного поля излучения с веществом, в результате которого энергия квантов излучения передается электронам вещества, изменяющим в нем свое энергетическое состояние.

Рассмотрим общие для большинства фотоприемников параметры и характеристики, важные для их выбора: параметры чувствительности, пороговые и шумовые характеристики, параметры временных и спектральных характеристик, энергетические характеристики.

Спектральная чувствительность S определяется как отношение изменения выходного сигнала фотоприемника (напряжения du или тока dI) к вызвавшему это изменение монохроматическому потоку:

$$S = \frac{dU}{d\Phi} \text{ или } S = \frac{dI}{d\Phi} \quad (1)$$

Порогом чувствительности (пороговым потоком) $\Phi_{\text{п}}$ называют минимальную величину эффективного значения синусоидально-модулированного потока излучения, падающего на приемник, при котором среднее квадратическое значение выходного сигнала равно среднему квадратическому значению шума в единичной полосе частот:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{\sqrt{\bar{V}_{\text{ш}}^2}}{S_u}, \quad (2)$$

где S_v - интегральная чувствительность по напряжению, порог чувствительности характеризует способность фотоприемника регистрировать малые сигналы.

Быстродействие фотоприемника характеризуется постоянной времени $t_{\text{пл}}$ промежутком времени, в течение которого сигнал на выходе приемника излучения уменьшается в s раз после прекращения облучения приемника. Более полно динамические свойства фотоприемника описываются частотной характеристикой - зависимостью чувствительности приемника от частоты модуляции падающего на него потока излучения.

Спектральная чувствительность - зависимость чувствительности фотоприемника от длины волны λ . Спектральная характеристика определяется материалом, из которого изготовлен приемник излучения.

Энергетические характеристики - это зависимость величины полезного сигнала на выходе фотоприёмника от величины потока излучения, падающего на его чувствительную площадку.

Действие фоторезисторов основано на эффекте фотопроводимости (внутреннем фотоэффекте), заключающемся в образовании свободных носителей зарядов в полупроводнике под воздействием падающего излучения. Электрические схемы включения фоторезисторов представлены на рисунке 7.

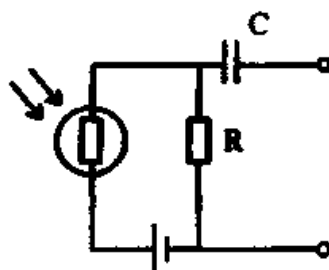


Рисунок 7 – Схема включения фоторезистора

Фоторезисторы находят широкое применение в силу своих преимуществ обеспечение работы систем автоматического управления в широком спектральном диапазоне, хорошая пороговая чувствительность.

Фотодиоды и их разновидности (лавинные фотодиоды, pin фотодиоды, дрейфовые фотодиоды), фототранзисторы относятся к группе приемников излучения с p-n переходами. Фотодиоды работают в фотовольтаическом режиме

(без внешнего источника питания) и в фотодиодном режиме (с внешним источником питания). Схема включения фотодиодов показана на рисунке 8.

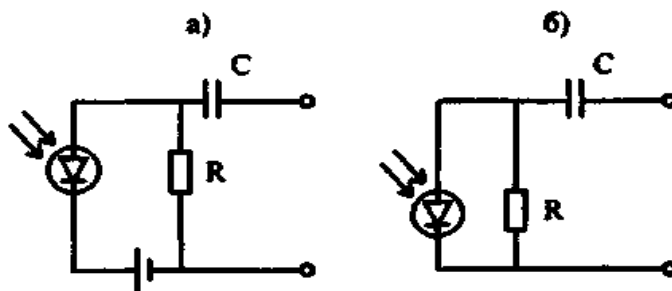


Рисунок 8 – Схема включения фотодиода: а) фотодиодный режим; б) фотовольтаический режим

Достоинствами фотодиодного режима являются: большая чувствительность, меньшая инерционность, большая линейность энергетической характеристики; недостатком - большие шумы. Постоянная времени фотодиодов обычно около 10^{-5} - 10^{-6} с.

Несмотря на более высокую интегральную чувствительность, фототранзисторы уступают фотодиодам по стабильности характеристик, быстродействию и пороговым характеристикам.

В последние годы прочное место стали занимать многоэлементные твердотельные приемники излучения, основными преимуществами которых являются широкий динамический диапазон, стабильность характеристик, малые габариты и масса, малая потребляемая мощность. Чувствительный слой многоэлементных приемников излучения состоит из отдельных элементов, разделенных малыми (до нескольких микрометров) промежутками и расположенными в виде линейки или двумерной структуры - матрицы.

Наиболее широкое применение в системах автоматического управления находят приборы с зарядовой связью (далее ПЗС) - приемники излучения, предназначенные для формирования оптического изображения. Конструктивно ПЗС состоит из совокупности конденсаторов со структурой металл-окисел-полупроводник (МОП - конденсаторов), принцип работы описан в

многочисленных учебниках и монографиях. В ПЗС осуществляется внутренняя коммутация, что создает ряд преимуществ - отсутствуют шумы коммутации, геометрический шум в ПЗС зарядовые пакеты на выходе детектируются с помощью выходного диода или плавающего затвора, имеющего малую ёмкость, вследствие чего ПЗС обеспечивает большое отношение сигнал/шум. Линейные ПЗС имеют более простую организацию считывания и, как правило, лучшее разрешение. Например, известны линейки, имеющие длину 26 мм и состоящие из 1600 элементов, размер ячейки по оси сканирования составляет 16 мкм, разрешение равно 800 пар линий. В настоящее время разработаны матрицы с форматом изображения 12,5x12,5 мм и с числом элементов (480x380) и (496x576).

Статическая характеристика ПЗС приведена на рисунке 9. Выходной сигнал зависит от энергии падающего излучения и от времени интегрирования, оба параметра связаны линейной зависимостью:

$$V_{BC} = K \cdot S_v \cdot \Phi, \quad (3)$$

где K - постоянная, зависящая от параметров источника, среды и оптической системы.

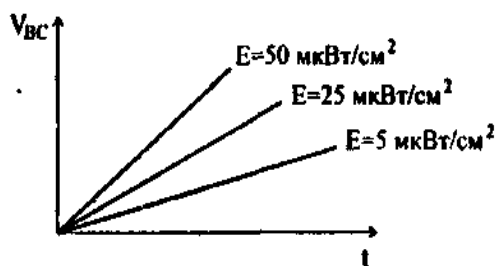


Рисунок 9 – Статистическая характеристика ПЗС

В системе контроля печатных плат и фотошаблонов оптико-электрический преобразователь предназначен для получения полной информации о контролируемом объекте (рисунок 10).

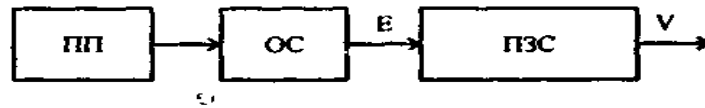


Рисунок 10 – Оптико-электронный преобразователь

Печатная плата (ПП) освещается, оптическая система ОС формирует изображение ПП в плоскости матрицы ПЗС типа К1200ЦМ1. Изображение размерностью (256x256) и 16 градациями яркости обрабатывается по соответствующим алгоритмам работы системы измерения габаритов ПП, размеров отверстий и контактных площадок, оценка разрывов и недопустимых сближений проводников и т.д.

Для данной работы предлагается использовать оптико-электрический преобразователь LeCroy OE695G.

Основные технические возможности:

- Совместимость с различными осциллографами;
- Частотный диапазон: от постоянного тока (DC) до 9,5 ГГц (электрический, -3 дБ);
- Поддержка стандартов: от 8GFC до 10GFC FEC, или пользовательские настройки (до 12.5 Гбит/с);
- Широкополосный режим (без восстановления тактовой частоты);
- Оптический вход: для мультимодового (62.5/125 мкм) или одномодового волокна;
- Широкий диапазон длин оптических волн: 750 нм ... 1650 нм;
- Максимальная пиковая мощность: +7 дБм (5 мВт);
- Низкий уровень шума: не превышает 25 пВт/Гц;
- Оптико-электрический преобразователь OE695G наиболее оптимален при анализе глазковых диаграмм (EyeMask), а также для измерения параметров, характеризующих приемно-передающие устройства ВОЛС:

- Амплитуда оптической модуляции (ОМА), представляющая собой разность максимального и минимального энергетических уровней цифрового сигнала;

- Коэффициент экстинкции (ER) – отношение этих уровней.

Преобразователь OE695G содержит встроенное программное обеспечение, содержащее фильтры опорных сигналов для стандартов FiberChannel, Ethernet, и стандартов связи ITU. Эти фильтры представляют собой 4-полюсный фильтр Бесселя Томпсона низких частот, обеспечивающий согласование электрического тракта осциллографа и оптико-электрического преобразователя. Таким образом, учитывается полоса пропускания осциллографа и потери преобразователя (типично 1,6 дБ). При необходимости в оптический модуль OE695G может быть встроен приемник по требованиям пользователя на любую скорость передачи до 12 Гбит/с. Кроме того, оптический модуль OE695G может работать без какого-либо приемника, обеспечивая полосу пропускания до 9,5 ГГц и время нарастания 45 пс на уровне сигнала 10%-90% при использовании осциллографов LeCroy с собственной полосой пропускания 20 ГГц.

Для данного оптического модуля существует опциональный сертификат калибровки OE695G-REFCAL. Этот документ будет содержать сведения о неравномерности АЧХ для различных стандартных приемников пользователя (со скоростями передачи до 12,5 Гбит/с), о неравномерности АЧХ с учетом всех 4-х каналов осциллографа, а также типичные данные о неравномерности АЧХ на других коэффициентах отклонения.

Технические характеристики преобразователя OE695G представлены в приложении А Технические характеристики OE695G.

3 Установка дополнительного оборудования для определения протечек в корпусе поворотного-лопастного рабочего колеса

Для автоматизации системы контроля на наличие протечек в корпусе поворотного-лопастной гидротурбины предлагается установка оптического датчика в корпус турбины, реагирующего на появление жидкости, по плотности отличающейся от воды. На рисунке 11 представлен способ прокладки кабеля на разрезе гидроагрегата.

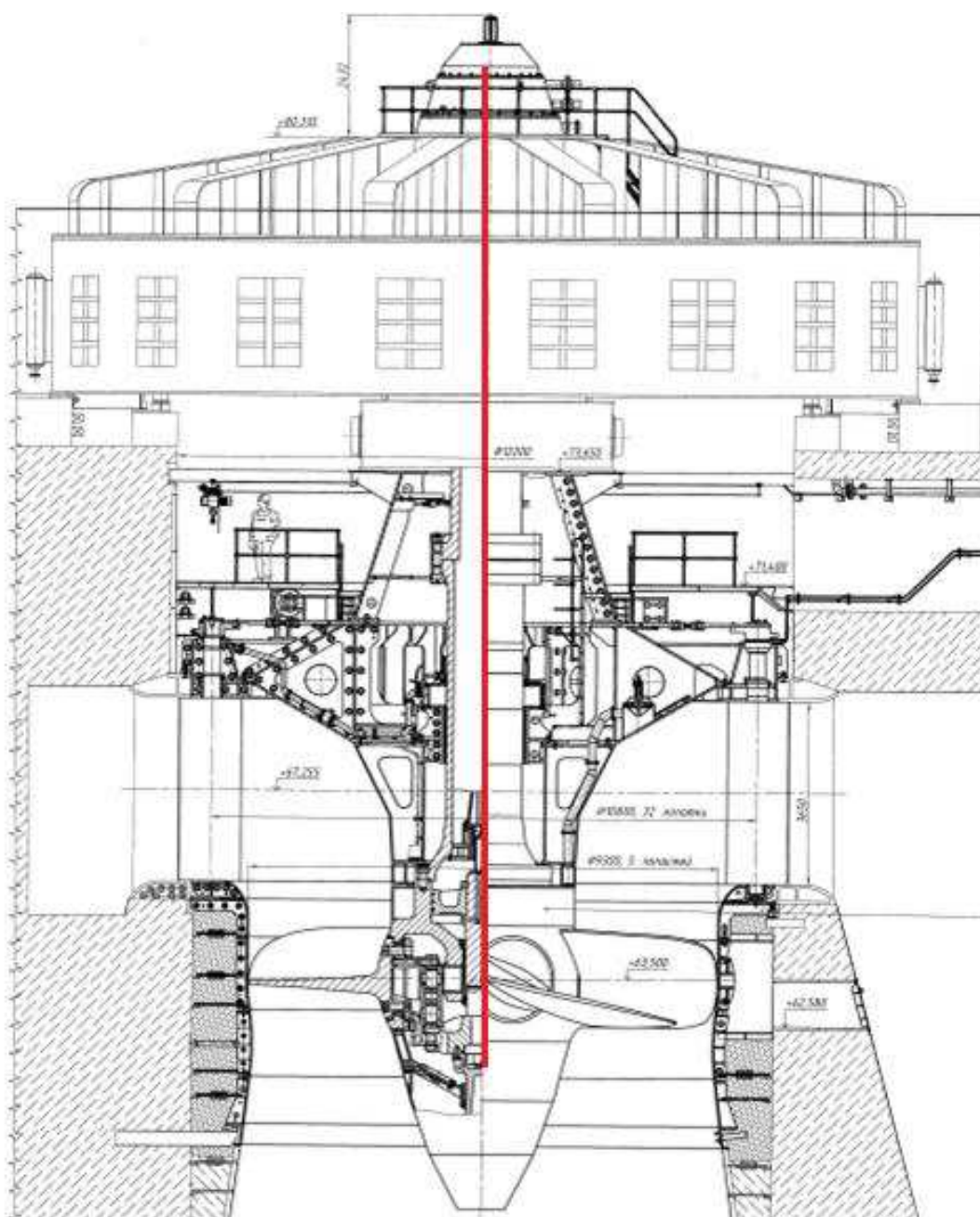


Рисунок 11 – Способ прокладки кабеля на разрезе гидроагрегата

Для более подробного представления об укладке кабеля на рисунках 12 и 13 показаны приближенные разрезы рабочего колеса и маслоприемника соответственно.

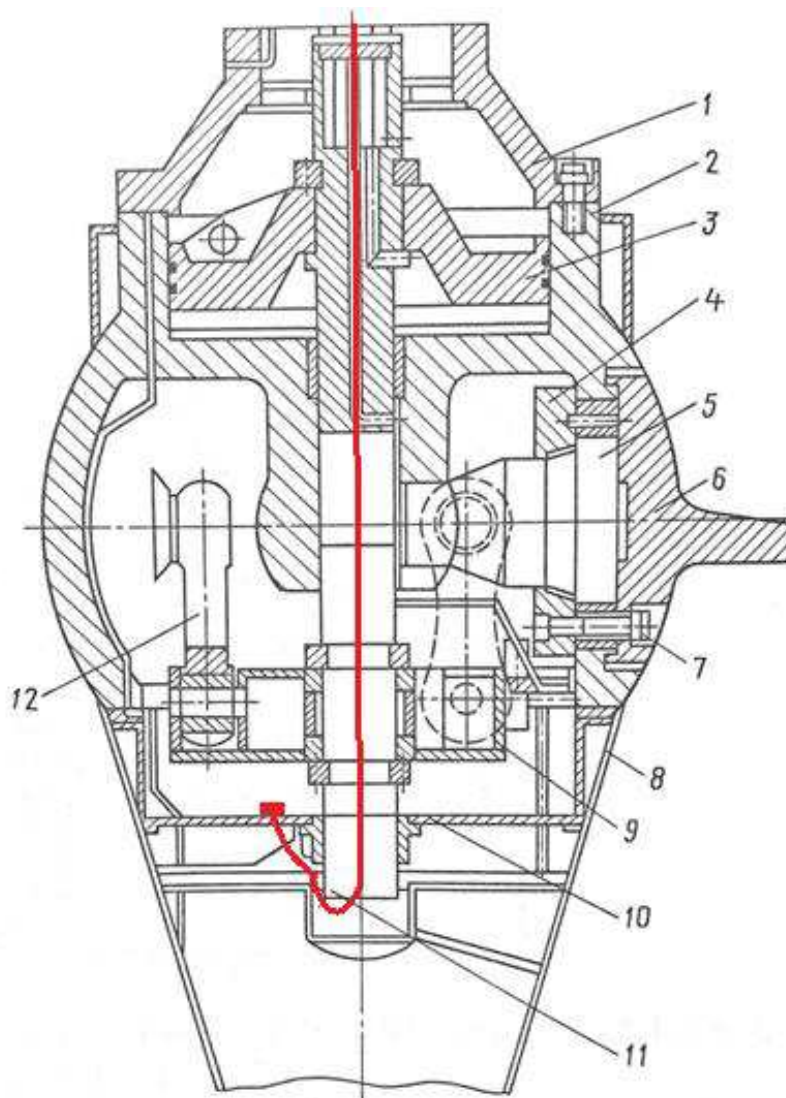


Рисунок 12 – Прокладка оптоволоконного кабеля в корпусе рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины

На рисунке 12 изображен оптический датчик с подведенным к нему через отверстие в штоке гидротурбины оптоволоконным кабелем. Для их соединения при изготовлении гидротурбины необходимо сделать отверстие в поршне гидротурбины. Также для поддержания допустимого уровня давления в корпусе

рабочего колеса следует уплотнить это отверстие, а также место выхода оптоволоконного кабеля из штока рабочего колеса.

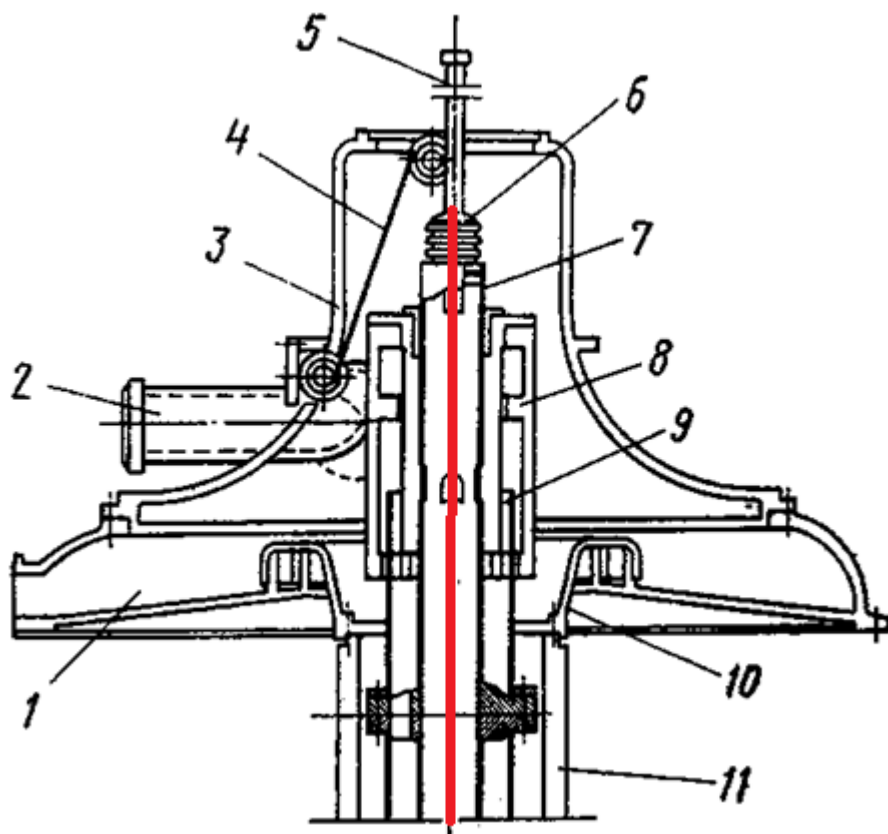


Рисунок 13 - Прокладка оптоволоконного кабеля в корпусе рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины

По оптоволоконному кабелю, проходящему внутри вала турбины, оптический сигнал будет передаваться на оптико-электрический преобразователь, установленный в маслоприемнике, с помощью которого он трансформируется в электрический сигнал (рисунок 14).

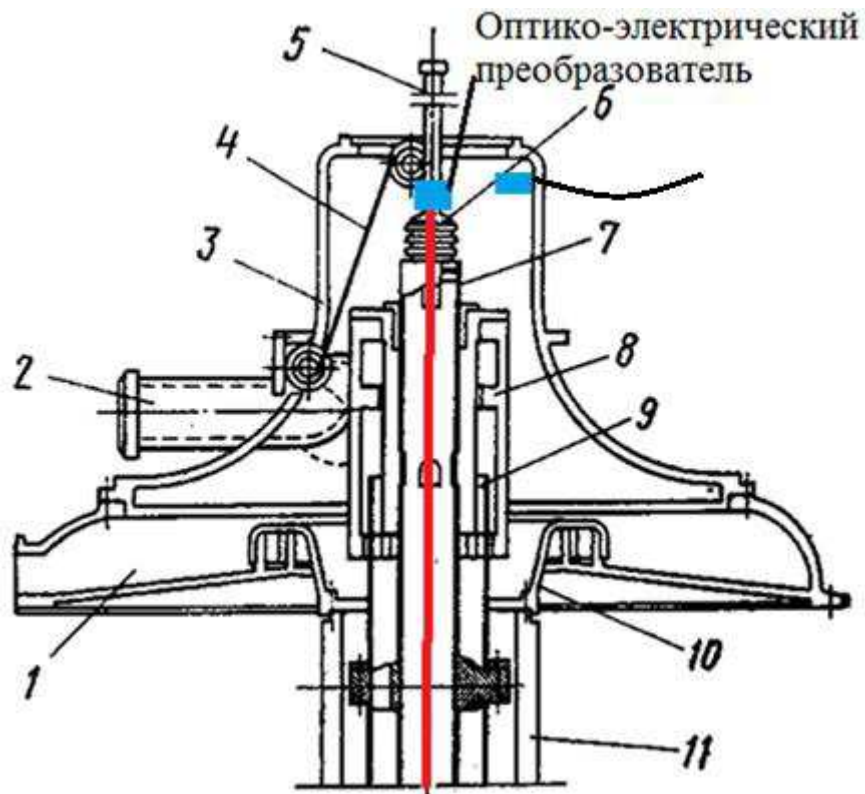


Рисунок 14 – Установка оптико-электрического преобразователя в маслоприёмнике

После преобразования сигнала из оптического в электрический он передается на щит управления гидротурбиной, где оперативный персонал сможет снимать показания с оптического датчика, установленного в корпусе рабочего колеса.

Данный проект является экономичным, так как его общая стоимость составляет порядка 90 тысяч рублей для одного агрегата.

При определенных доработках аналогичную систему контроля над протечками можно установить и в корпусе маслonaполненного рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины (рисунок 15).

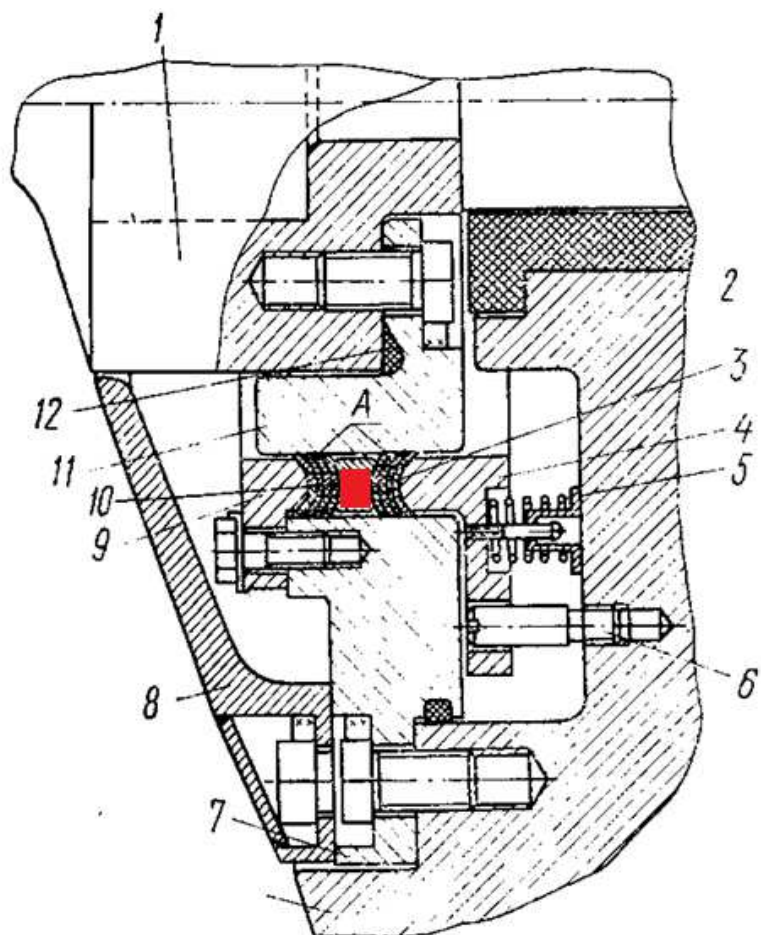


Рисунок 15 – Установка оптического датчика в корпусе маслonaполненного рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача обеспечения надежности решается путем профилактических мер контроля и испытаний гидроагрегатов для раннего выявления и устранения дефектов, развитие которых может привести к аварийным отключениям агрегатов.

В ходе эксплуатации магистерской диссертации был предложен способ установки и подключения датчика в корпус поворотно-лопастного рабочего колеса для контроля на наличие протечек. Это позволит значительно увеличить экологическую безопасность оборудования и, соответственно, сохранить состояние окружающей среды.

Одним из основных достоинств данного проекта является его экономичность. Она заключается в том, что стоимость установки системы контроля для одного гидроагрегата составляет порядка 90 тысяч рублей, что более чем в два раза меньше, чем «экологические штрафы» за загрязнение окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Демьянов, В.А. Расчетно-экспериментальное обоснование конструкции экологичных поворотно-лопастных гидротурбин : диссертация ... кандидата технических наук : 05.04.13 / Демьянов Владимир Александрович. – Санкт-Петербург, 2013. – 151 с.
2. Волков Д.Р. Опыт разработки и внедрения САУ и дистанционного контроля МГЭС / Д.Р. Волков // Гидротехника. – 2016. - №1. – С. 10.
3. Захаров А.А. Измерительные системы на основе волоконно-оптических датчиков для мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений / А.А.Захаров // Гидротехника. – 2015. – №3. – С.27.
4. Ю.С. Васильев Машиностроение. IV-20 : науч. изд. / Ю.С. Васильев, В.А. Умов, Ю.М. Исаев. – Москва : Машиностроение, 1984. – 584 с.
5. Андреев В.Б. Справочник по гидротурбинам : науч. изд. / В.Б. Андреев, Г.А. Броновский, И.С. Веремеенко. – Москва : Машиностроение, 1984. – 465 с.
6. Броновский Г.А. Технология гидротурбостроения : науч. изд. / Г.А. Броновский, А.И. Гольдфарб, Р.К. Фасулати. – Москва : Машиностроение, 1970. – 378 с.
7. Уголовный кодекс Российской Федерации : федеральный закон от 13.06.1996 № 63-ФЗ – Москва 2018. – 224 с.
8. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/>
9. Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>
10. Каталог «Испытательное оборудование» [Электронный ресурс] // АО «ПриСТ». – Режим доступа: <https://prist.ru/>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Технические характеристики OE695G

Таблица А.1 - Технические характеристики OE695G:

Оптическая длина волны	780 – 1550 нм (калиброванный диапазон) 750 – 1650 нм (не калиброванный диапазон)
Полоса частот модуляции	0 (DC)... 8,625 ГГц (-3 дВе, электрический) 0 (DC) ... 11,64 ГГц (-3 dVo, оптический) (с использованием опорного приемника) 0 (DC) ... 9,5 ГГц (-3 дБе) 0 (DC) ... 12 ГГц (-6 дБе) 0 (DC) ... 17 ГГц (-14 дБе) (вариации в полосе пропускания +/-1 дБе, без опорного приемника)
Потери в опорном приемнике	$\pm 1,6$ дБе до $F_{ref}=0,75x$ * скорость передачи ± 4 дБе 2* скорость передачи (тип.) $\pm 0,85$ дБе до частот $F_{ref}=0.75*$ скорость передачи ± 4 дБе 2* установленной скорости передачи (на входном канале 4 соответствующего осциллографа с диапазоном усиления 11, 17, 20, 30, 39, 50, 75, 90 или 100 мВ/дел при наличии опции OE695G-REFCAL)
Поддерживаемые стандарты (настройки приемника)	8GFC, OC192/STM64,10GBASE-W,10GBASE-R,10GFC, ITU-T G.975 FEC, ITU-T G.709 FEC, 10GbE FEC, 10GFC FEC, пользовательский сигнал (622 Mb/s to 12.5 Gb/s), без использования стандарта (макс. полоса пропускания)
Эквивалентная мощность шума	25 пВт/Гц@ 1310 нм (типично) 50 пВт/Гц @ 850 нм (типично) Средняя спектральная плотность шума в диапазоне 0...10 ГГц с использованием наиболее чувствительной вертикальной шкалы.
Время нарастания (10-90%)	33 пс (типовой, без опорного приемника)

Продолжение приложения А

Окончание таблицы А.1

Максимальная оптическая мощность	+7 дБм (5 мВт) пиковое значение
Максимальный входной оптический линейный уровень (точка уровня 1-дБ компрессии)	-2 дБм (тип.), -3 дБм (мин.) для волн 1550/1310 нм, +4 дБм (тип.), +3 дБм (мин.) для волн 850 нм.
Тип соединителя	тип FC/PC, совместимый с 62,5/125 мкм многомодовой ВОЛС или механически сопрягаемый с одномодовым кабелем

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

И. Ю. Погоняйченко

подпись инициалы, фамилия

« 18 » 06 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

13.04.02 - Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 - Гидроэлектростанции

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НА
НАЛИЧИЕ ПРОТЕЧЕК В КОРПУСЕ ПОВОРОТНО-ЛОПАСТНОГО
РАБОЧЕГО КОЛЕСА**

Руководитель


15.06.18
подпись, дата

Доцент кафедры ГГЭЭС Саяно-
Шушенского филиала СФУ
должность

В.И. Татарников
инициалы, фамилия

Выпускник


15.06.18
подпись, дата

А.И. Полежаева
инициалы, фамилия

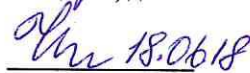
Рецензент


15.06.18
подпись, дата

Главный инженер АО
«Гидроремонт-ВКК»
должность

Е.В. Кондратцев
инициалы, фамилия

Нормоконтролер


18.06.18
подпись, дата

А.А. Чабанова
инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2018