

# МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРИТРУБНЫМ ГЕРМЕТИЗАТОРОМ

**А. В. Сахарук, М. В. Столбов**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научные руководители: Ю. В. Крышнев, Э. М. Виноградов, Л. А. Захаренко

Внутритрубный герметизатор – устройство, герметизирующее место повреждения трубопровода и предотвращающее разлив нефти при проведении ремонтных работ.

*а)*

*б)*

*Рис. 1. Схема герметизатора: а – механическая часть: 1 – радиомаячок системы CD42; 2 – мембрана; 3 – шток; 4 – уплотнители (манжеты); 5 – местоположение ВППУ в герметизаторе; б – расположение электронных модулей: НППУ – наземное приемо-передающее устройство; ВППУ – внутритрубное приемо-передающее устройство; ПУИ – пульт управления и индикации; БЭ – блок электроники; Акк – аккумулятор; АМ – антенный модуль; ИМ – измерительный модуль, КЛ – клапан*

Алгоритм работы герметизатора следующий. Он помещается в трубопровод, и перемещается давлением нефти по трубопроводу до места повреждения. В месте проведения ремонтных работ путем подъема давления в нефтепроводе прорывается мембрана 2 (рис. 1, *а*), нефть попадает внутрь гидроцилиндра и давит на поршень,

в свою очередь он начинает передвигаться двигать за собой шток 3, уплотнители 4 насаживаются на конусы и герметизируют трубопровод. После проведения ремонтных работ в трубопроводе снова повышается давление нефти, и снаряд проталкивается до следующего шлюза.

Проблемы, возникающие при эксплуатации внутритрубного герметизатора:

- 1) определение местоположения герметизатора в трубопроводе;
- 2) управление моментом срабатывания герметизатора;
- 3) определения факта срабатывания герметизатора.

Для определения местоположения герметизатора в трубе используется штатная система CD-42. Она состоит из маячка, который крепится в носовой части герметизатора, и на протяжении всего времени движения герметизатора излучает пачки импульсов с частотой 22 Гц, и наземной части, которая принимает пачки импульсов и выводит на ЖК-индикатор их амплитуду. По амплитуде импульсов и определяется местоположение герметизатора. В ходе эксплуатации данной системы выяснились ее недостатки. Мощность сигнала, излучаемая маячком очень маленькая, вследствие чего во многих случаях наземная часть CD-42 не может принять сигнал, и становится невозможным определить местоположение герметизатора.

Невозможно точно задать момент срабатывания герметизатора, так как он определяется процессом подъема давления. Кроме того, большие скачки давления приводят к износу стенок трубопровода.

Как показала практика, из-за несовершенной системы управления срабатыванием герметизатора часто происходит преждевременное срабатывание герметизатора, либо наоборот, затягивание в срабатывании. Поэтому для наблюдения фактического хода процесса герметизации необходимо иметь информацию о перемещении штока.

Из-за вышеперечисленных проблем при эксплуатации внутритрубного герметизатора возникла задача разработать систему контроля и управления внутритрубным герметизатором.

Основной проблемой обмена информацией между ВППУ и НППУ является затухание трубопровода на глубине около 2–6 м под поверхностью земли. Для определения требований к характеристикам приемопередатчиков, осуществляющих передачу радиосигнала в трубопровод и обратно, необходимо было рассчитать затухание сигнала в средах «воздух-почва-трубопровод». 90–95 % затухания будет определять сталь трубопровода. По сути, трубопровод является экраном для магнитных полей. Влияние этого экрана на ослабление магнитного поля в трубе было оценено двумя методами.

В первом случае использовался метод, описанный в [1]. Коэффициент ослабления определяется по формуле

,

где  $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость материала экрана (стали);  $d$  – толщина стенок экрана;  $D$  – диаметр эквивалентного сферического экрана, близкий к длине стенки кубического экрана.

С учетом того, что намагниченная сталь имеет  $\mu_r = 100–2000$ , коэффициент ослабления составит:

$$K = 1 + \frac{(100 - 1000)10 \text{ мм}}{800 \text{ мм}} = 1,75 - 17,5.$$

Во втором случае расчет коэффициент ослабления осуществлялся по формуле, взятой из [2]. Коэффициент ослабления составил 1,24–12,4.

Достоверность расчетных формул производилась путем моделирования в программе Elcut и путем натурального эксперимента, в котором использовался специальный стальной контейнер с толщиной стенки, равной толщине стенки реального трубопровода. Коэффициент ослабления, полученный путем моделирования, составил 4,5. При расчетах учитывалось, что намагниченная сталь имеет  $\mu_r = 100\text{--}2000$ . Полученный порядок значения коэффициента ослабления был подтвержден экспериментально в условиях, близких к реальным (коэффициент ослабления составил 15,2).

При выборе рабочей частоты приемопередатчиков руководствовались тем, что при любых значениях  $\mu_r$  затухание сигнала возрастает с увеличением частоты, причем тем быстрее, чем меньше намагниченность стали. Максимальный уровень передаваемого сигнала будет наблюдаться в области низких частот. Однако следует отметить, что построение канала связи в области очень низких частот проблематично по причине нереально больших требуемых габаритов приемной и передающей катушек (антенн). Компромиссным решением является работа в диапазоне частот 20–25 Гц, когда коэффициент передачи находится на уровне порядка 0,1 при среднем значении намагниченности стали трубопровода ( $\mu_r = 500$ ).

В итоге для работы приемопередатчика устройства выбрана частота 22 Гц.

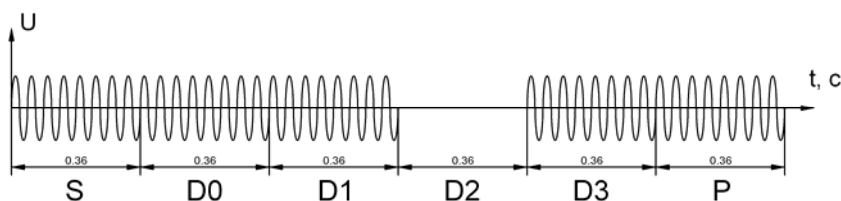
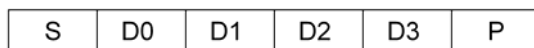
Алгоритм работы устройства следующий.

ВППУ на протяжении всего движения по трубопроводу излучает пачки импульсов частотой 22 Гц, для возможности определения его местоположения системой CD-42.



Рис. 2. Сигналы маячка

В перерывах между пачками импульсов ВППУ переключается на прием и ожидает запроса на определение положение штока, либо на открытие впускного клапана. При срабатывании снаряда, шток начинает перемещаться, вызывается прерывание и микроконтроллер сохраняет информацию о текущем положении штока. При получении запроса с НППУ микроконтроллер возвращает двоичный код, содержащий информацию о положении штока. При получении запроса на срабатывание герметизатора контроллер подает команду на открытие клапана.



*Рис. 4.* Пример посылки кода «1011»

Большая часть электронных компонентов располагается в носовой части герметизатора. Внутри создается герметичный контейнер с внешним люком для доступа к электронике. Передающая и принимающая антенны располагаются снаружи на передней части герметизатора (месторасположение штатного маячка CD-42, рис. 1, а, точка 1). Клапан, регулирующий подачу нефти в герметизатор, находится в хвостовой части (рис. 1, точка 2). Рассматривалось два способа связи устройства управления клапаном с основной частью ВППУ:

- проводной;
- беспроводной (по внутреннему радиоканалу).

Проводной способ более дешевый, однако и более сложный в реализации, так как организация канала для проводной связи снижает надежность герметизации трубопровода. Беспроводной способ предусматривает наличие дополнительных аккумуляторных батарей. С учетом того, что нефть является диэлектриком, для связи можно использовать высокочастотный радиоканал.

#### Л и т е р а т у р а

87. Каден, Г. Электромагнитные волны в высокочастотной технике и технике связи / Г. Каден. – Москва : Госэнергоиздат, 1946. – Т. 1.
88. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов, 1964.