

УДК 621.646: 621.83

**Е. С. Трубачев**, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
**А. Э. Пушкарев**, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
**Т. А. Пушкарева**, студентка, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРИВОДОВ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

**Н**овые технические решения появляются в ответ на запросы практики. Выбор того или иного структурного варианта в настоящее время неотделим от наукоемкого процесса анализа и синтеза разнообразных альтернатив, обладающих зачастую противоречивыми характеристиками. Этот процесс сейчас связан с нечеткими процедурами и неформализованными алгоритмами, одним из которых является функционально-стоимостной анализ, известный с середины XX века и хорошо зарекомендовавший себя в различных отраслях промышленности [1–6].

Трубопроводная транспортная система немыслима без арматуры различного функционального назначения. Приведение ее в действие и управление ею осуществляются с помощью разнообразных приводов, исполнительных механизмов, блоков управления и мастер-станций [7–10]. Быстрый рост сети трубопроводов, а также необходимость реконструкции существующих систем актуализирует проблему обеспечения их оборудованием, соответствующим различным условиям эксплуатации [11]. Наиболее частая дилемма, встающая перед проектировщиком

привода трубопроводной арматуры, – удовлетворение противоречивым и зачастую ужесточенным требованиям к конструкции и параметрам арматуры.

Первым этапом функционально-стоимостного анализа является рассмотрение структурных связей. В соответствии с одним из основных принципов функционально-стоимостного анализа – принципом системного подхода – необходимо рассматривать привод трубопроводной арматуры как часть системы более высокого уровня (трубопроводной системы, включающей арматуру), и как ее подсистему, также состоящую из элементов, взаимодействующих друг с другом. Это позволяет оценить, насколько изменение компонентов или их свойств повлияет на другие составляющие подсистемы, на привод и на трубопроводную транспортную систему в целом. При этом корректировка отдельных элементов не может производиться обособленно. В работах [12, 13] рассматривались основные структурные элементы трубопроводной транспортной системы. На рис. 1 представлена доработанная и расширенная, по сравнению с [14], структурная модель трубопроводной транспортной системы.



Рис. 1. Структурная модель трубопроводной транспортной системы:

\* – изоляция тепловая, антикоррозионная, огнезащитная, гидроизоляция, виброизоляция, звукоизоляция

Необходимо отметить, что графическое размещение элементов в структурной модели не равнозначно их наличию и местоположению в самой системе. Так, блок управления приводом может являться ча-

стью привода и располагаться с ним в одном корпусе; может быть выполнен в виде отдельного модуля, смонтированного непосредственно на приводе или вне его; может вообще отсутствовать.

На рис. 2 представлена структурная модель привода трубопроводной арматуры, составленная в соответствии с одним из ключевых принципов функционально-стоимостного анализа: максимальное обобщение компоновочных схем, их абстрагирование от конкретной конструкции. Так, энергия, поступающая от источника, необходима для выполнения разных функций привода, и тип энергии может быть различен даже для одного исполнения структурного элемента. Например, для выполнения

основной функции привода – перемещения запирающего органа арматуры – может использоваться энергия жидкости, находящейся под давлением; для питания органа управления – электрическая энергия от сети; для хранения данных и программирования – ток аккумуляторной батареи; для выравнивания давления по обе стороны от рабочей поверхности арматуры и контроля за параметрами – энергия рабочей среды, транспортируемой по трубопроводу, и т. д.



Рис. 2. Структурная модель привода трубопроводной арматуры: НЗ – нормально закрытая; НО – нормально открытая

Далее фильтр носителя энергии, в зависимости от вида источника энергии, защищает привод от выхода из строя в следующих случаях: при отклонении от требуемых параметров рабочей жидкости или газа; неправильном подключении фаз или отсутствии фазы и т. д. Специальный тормоз предусматривается в следующих случаях: повышенные требования к регулированию; снижение времени закрытия [15, 16]; обеспечение необратимости действия привода. Самоторможение привода можно осуществить, если в нем присутствуют кулачковые или винтовые элементы при соответствующем значении угла профиля кулачка или угла подъема винтовой линии.

Механические передачи в управляющем оборудовании трубопроводной транспортной системы используются на различных уровнях, что отражено в структурной модели привода (см. рис. 2). Наличие передаточного механизма в корпусе привода не исключает возможности использования промежуточного редуктора и наличия в самой арматуре, например, реечной передачи. При нахождении арматуры

в труднодоступных для обслуживания местах возможна установка дополнительных передаточных механизмов для дистанционного управления.

Передачи, размещенные на разных уровнях структурной модели, представляется возможным рассматривать как одну многоступенчатую. Деление общего передаточного отношения по ступеням (промежуточный редуктор также может быть многоступенчатым), их количество, а также тип каждой передачи зависят от многих факторов: момент для управления арматурой; момент, обеспечиваемый стандартным приводом; необходимое время закрытия или открытия арматуры; минимальные и максимальные допустимые скорости закрытия и открытия арматуры; необходимость регулирования скорости в процессе движения; обязательность или необязательность обеспечения самоторможения; тип движения (вращательное, поступательное, сложное) рабочей поверхности арматуры и рабочего органа привода; компоновочные соображения; стоимость изготовления привода и редуктора.

Графическая структурная модель привода трубопроводной арматуры (см. рис. 2) обобщает структуру разных типов привода, а также различных их исполнений. Модель привода дает возможность сравнивать существующие конструкции, выделять компоненты, требующие особого рассмотрения, что соответствует одному из базовых положений функционального подхода – абстрагированию от имеющегося решения, которое не является и не может быть единственным. Следует отметить, что в представленном материале способы исполнения блока управления, передаточного механизма, варианты обеспечения подсистем привода энергией отображены далеко не полностью. Здесь достаточно указать на снабжение энергией привода в случае аварийной ситуации, на дистанционное управление и учесть, что в каждом конкретном случае выполнение всех требований не является обязательным, а в случае усложнения конструкции и неизбежного повышения стоимости становится экономически неэффективным. В то же время подробное рассмотрение возможных исполнений каждого компонента привода и трубопроводной системы в целом, выбор оптимального варианта могут быть произведены с помощью других методов, например, морфологического анализа [17]. Структурные модели привода, арматуры и трубопроводной системы в этом случае способствуют выявлению элементов, для которых такие исследования необходимы, а также показывают, насколько изменение свойств отдельного компонента влияет на всю систему. Кроме того, эвристические свойства структурных моделей позволяют получать новые технические решения [18].

Таким образом, составлена структурная модель приводов трубопроводной арматуры, которая является основой для формирования функциональной модели, их совместного рассмотрения в полной функционально-структурной модели и создания методики выбора наиболее рационального привода трубопроводной арматуры, отвечающего заданным требованиям производства и эксплуатации.

#### Библиографические ссылки

1. *Моисеева Н. К., Карпунин М. Г.* Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа. – М.: Высш. шк., 1988. – 192 с.
2. *Морозов Д. А., Пушкарев А. Э.* Функционально-структурная модель ветроэнергетических установок // Вестник ИжГТУ. – 2008. – № 1. – С. 34–38.
3. *Пушкарев А. Э., Пушкарева Л. А.* Функциональная модель машинного агрегата // Наука Удмуртии. – 2009. – № 9. – С. 197–201.
4. *Пушкарев А. Э., Пушкарев И. А.* Структура инженерно-строительных систем с подвижными нагрузками и элементами защиты от вибрации // Электронный научный журнал. – 2015. – № 2(2). – С. 235–238.
5. *Пушкарев А. Э., Пушкарев И. А.* Функциональный подход к исследованию виброзащиты инженерно-строительных систем с подвижными нагрузками // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. – 2015. – № 12-1. – С. 67–70.

6. *Пушкарева Т. А.* Функционально-структурный и морфологический анализ механических систем преобразования энергии от возобновляемых источников // Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе: материалы регион. науч.-практич. семинара (Ижевск, 26.02–26.03.2016 г.) / ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – Ижевск: Иннова-2016. – С. 18–23.

7. *Гольдфарб В. И., Трубачев Е. С.* Создание высокоэффективных редукторов приводов трубопроводной арматуры: материалы 1-й Международной конференции «Трубопроводная арматура XXI века». – Курган: Курган. гос. ун-т, 2008. – С. 68–76.

8. *Гольдфарб В. И., Трубачев Е. С., Кузнецов А. С.* Перспективы и практика применения спироидных передач в приводах трубопроводной арматуры // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2011. – № 5-2. – С. 61–74.

9. Спироидные редукторы трубопроводной арматуры / В. И. Гольдфарб, Д. В. Главатских, Е. С. Трубачев, А. С. Кузнецов, Е. В. Лукин, Д. Е. Иванов, В. Ю. Пузанов. – М.: Вече, 2011. – 224 с.

10. *Гольдфарб В. И., Трубачев Е. С.* Что делать и чего не делать при выборе и проектировании редукторов ТПА // Арматуростроение. – 2010. – № 1(64) – С. 52–57.

11. *Гольдфарб В. И., Трубачев Е. С., Кузнецов А. С.* Сопоставительный анализ поколений спироидных редукторов приводов трубопроводной арматуры // Арматуростроение. – 2015. – № 1(94). – С. 80–87.

12. *Пушкарева Т. А.* Структура трубопроводной транспортной системы // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. – 2015. – № 12, т. 1. – С. 70–72.

13. *Pushkareva T. A., Volkova D. A.* Research of structural elements of the pipeline // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке: сб. трудов IV Всерос. науч.-технич. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием (Ижевск, 20–21 апреля 2016 г.) / ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – Ижевск: Иннова-2016. – С. 5–7.

14. *Пушкарева Т. А.* Структура трубопроводной транспортной системы // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. – 2015. – № 12, т. 1. – С. 70–72.

15. *Pushkareva T. A., Volkova D. A.* Motion law selection for pipeline valve locking body // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке: сб. материалов III Всерос. науч.-технич. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием (Ижевск, 22–23 апреля 2015 г.) / ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – Ижевск: Иннова-2015. – С. 878–882.

16. *Пушкарева Т. А.* Гидроудар и выбор закона движения рабочей поверхности арматуры // Электронный научный журнал. – 2015. – № 1(1). – С. 115–119.

17. *Пушкарева Т. А.* Функционально-структурный и морфологический анализ механических систем преобразования энергии от возобновляемых источников // Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе: материалы регион. науч.-практич. семинара (Ижевск, 26.02–26.03.2016 г.) / ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – Ижевск: Иннова-2016. – С. 18–23.

18. Патент РФ № 2454590. Двухскоростной ручной привод трубопроводной арматуры / В. И. Гольдфарб, Д. П. Громов, Е. С. Трубачев, А. С. Кузнецов, В. В. Макаров. – Заявл. 08.06.2009, опубл. 27.06.2012.