

## НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.643.34(43)

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА ГИБКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В. К. ИТБАЕВ, А. М. БРЮХАНОВ

Факультет авиационных двигателей УГАТУ  
Тел: (3472) 23 36 77 E-mail: CAD@bashedu.ru

Излагаются состояние и перспективы разработки и мирового производства гибких металлических трубопроводов. Дается сопоставительный анализ лучших мировых и отечественных образцов

*Гибкий металлический рукав; сифонный компенсатор*

Гибкие металлические трубопроводы (ГМТ) в виде гибких металлических рукавов и сифонных компенсаторов широко применяются в авиакосмической технике, на транспортных средствах, в трубопроводных системах энергетических установок, в установках химического, нефтеперерабатывающего производства и других отраслях народного хозяйства России.

По сравнению с полимерными (резиновыми, фторопластовыми и др.) гибкие металлические трубопроводы обладают следующими основными достоинствами:

- а) более высокими (до 650°С) эксплуатационными температурами рабочих и окружающих сред;
- б) возможностью эксплуатации при низких (до 22 К) температурах;
- в) высокой коррозионной стойкостью при воздействии агрессивных и особоагрессивных рабочих и окружающих сред;
- г) высокой стойкостью к радиационному облучению и воздействию озона;
- д) длительными сроками хранения.

Гибкие металлические рукава и сифонные компенсаторы изготавливаются из высококачественных коррозионностойких сталей и сплавов на высоком технологическом уровне. Ряд конструкций ГМТ, технологических способов и оборудования для их изготовления являются уникальными и не имеют аналогов в мире.

Применение ГМТ в трубопроводных системах различных объектов позволяет эффективно компенсировать погрешности изготовления, монтажа, а также тепловые расширения и перемещения стыкуемых с ними жестких трубопроводов, агрегатов и опорных деталей. ГМТ являются незаменимыми при транспортировке рабочей среды (жидкости или газа) от агрегата к агрегату, совершающих в процессе эксплуатации рабочие перемещения друг относительно друга. Наличие ГМТ в трубопроводных системах изделий облегчает замену отработанных модулей, деталей трубопроводных систем, так как при этом не требуется вы-

полнение таких трудоемких операций, как рихтовка, подгонка по месту и т. д. Вместе с тем основная деталь гибких металлических трубопроводов — тонкостенная гибкая гофрированная оболочка — требует деликатного обращения с ГМТ при изготовлении, монтаже и эксплуатации, а также научно обоснованных подходов при назначении эксплуатационных перемещений, радиусов изгибов, величин рабочих давлений, скоростей протекания рабочих сред, ресурса и сроков хранения.

В развитых в техническом и экономическом отношении странах мира ГМТ изготавливаются более чем 80 фирмами, объединениями и специализированными предприятиями. Наиболее известными из них являются:

- а) США — Anaconda и ее филиалы, Flexonics Corp., Hexonics Corp., Flexible Tubing Corp. и др.;
- б) Англия — Abboflex Ltd., Power Flexible Tubing Co. Ltd., Pressey International Ltd., Vores Bergen Cenflex Ltd. и др.;
- в) Франция — Tecalemit Gelbon Rungis, Tynaux Flexibles Rudolf, La Jonchere, ISS — Les Moulineaux и др.;
- г) Германия — GMBH — Hidra, Flexinics Corp., Sicherheit mit IWK;
- д) Япония — Nippon Valgua Korio Ltd., Osaka rasenkan kodyo Co. Ltd., Kokusan Rasean — Kan Seisaku Co. Ltd. и др.

Филиалы указанных фирм, а также самостоятельные предприятия-производители ГМТ имеются в Италии, Швеции, Бельгии, Голландии, Индии, Южной Корее, Тайване и других странах.

Судя по каталогам указанных фирм, не все они выпускают полную номенклатуру гибких металлических трубопроводов. Существует их определенная специализация в зависимости от диаметров проходных сечений, рабочих давлений, назначения и ряда других признаков, что связано с традиционными заказчиками, возможностями предприятий и другими причинами.

Вместе с тем для большинства рассмотренных предприятий производство ГМТ не является

Таблица

## Технико-экономические показатели гибких металлических рукавов и сильфонных компенсаторов

| Головная организация-разработчик, организации-соисполнители, организации, внедрившие результаты   | Технико-экономические показатели            |                             |                                 |   | Результаты, полученные при внедрении работы   | Авторские свидетельства и патенты                                      | Запланированное развитие работы  |
|---|---|-----------------------------|---------------------------------|---|---|--|--|
|   | наименование показателя и единицы измерения | значение показателя техники | лучшей применяемой в РФ техники | лучших зарубежных аналогов                |   |  |  |
| <i>Гибкие металлические рукава с параллельным и винтовым гофром</i>   |   |                             |                                 |   |   |  |  |
| <b>Разработка:</b><br>ОКБ «Гидромеханика»;<br>ГУ УАП «Гидравлика»;<br>Ин-т машиноведения РАН;<br>ОНИЛ гибких трубопроводных систем УГАТУ<br><br><b>Внедрение:</b><br>ОКБ им. Туполева, Ильюшина, Яковлева, Бериева, Антонова, Соловьева, Климова, «Прогресс», КБ «Химвтоматика», НПО «Энергия», АО «КамАЗ», «ММК», «ВАЗ», Чебоксары, Саранск, Минск и др. | $d_y$ , мм                                  | 6-350                       | нет аналогов                    | 8,6-300,6<br>5-14<br>2,0-64<br>(-196)-600 | Впервые разработаны, изготовлены и внедрены А.с. №№ 152, 156, 343103, 409047, 405.789, 282.561, 266706-13.01.70 282561-04.07.70 564111-16.03.77 и др. | Более 120 на конструкции и технологии изготовления                     | Разработка и изготовление перспективных металлорукавов:<br>- высокой прочности на давление 75-100 МПа;<br>- высокой жаропрочности до 700°C;<br>- облегченной конструкции за счет применения сплавов на основе титана, алюминия и др. |
|   | $R_{\min}$ , $d_y$                          | 5-12                        |                                 |   |   |  |  |
|   | $P_{\text{раб}}$ , МПа                      | 1,6-65                      |                                 |   |   |  |  |
|   | $t_{\text{раб}}$ , °C                       | (-270)-650                  |                                 |   |   |  |  |
| Коеф. снижения $P_{\text{раб}}$ при макс. температуре:  |   |                             |                                 |   |   |  |  |
| 200°C   | 0,82  |                             |                                 | 0,76                                      |   |  |  |
| 250°C   | 0,77  |                             |                                 | 0,71                                      |   |  |  |
| 400°C   | 0,69  |                             |                                 | 0,61                                      |   |  |  |
| <i>Гибкий металлический рукав с фторопластовым покрытием гофров для особоагрессивных сред</i>   |   |                             |                                 |   |   |  |  |
| <b>Внедрение:</b><br>СПКТБ «Союзнефтеавтоматика», Октябрьский завод   | $d_y$ , мм                                  | 12-32                       | нет аналогов                    | нет аналогов                              |   | № 365229,<br>№ 409407,<br>№ 1046701                                    | Изготовление рукавов больших диаметров с $d_y$ до 70 мм  |
|   | $R_{\min}$ , $d_y$                          | 15-10                       |                                 |   |   |  |  |
|   | $P_{\text{раб}}$ , МПа                      | 21-15                       |                                 |   |   |  |  |
|   | $t_{\text{раб}}$ , °C                       | (-60)-230                   |                                 |   |   |  |  |
| <i>Гибкий металлический рукав с гибким наружным защитным экраном для систем выпуска ОГ транспортных средств</i>   |   |                             |                                 |   |   |  |  |
| <b>Внедрение:</b><br>АО «КамАЗ»   | $d_y$ , мм                                  | 80-125                      | нет аналогов                    | нет аналогов                              | 1,8 млн. руб. в ценах до 1990 г.  | Пат. РФ № 2007653, № 2050496, № 2433 от 13.06.71 на пром. образец      | Изготовление рукавов с гибким наружным и внутренними экранами на рабочие давления до 1,5 МПа и более   |
|   | $R_{\min}$ , $d_y$                          | 12-10                       |                                 |   |   |  |  |
|   | $P_{\text{раб}}$ , МПа                      | 0,15                        |                                 |   |   |  |  |
|   | $t_{\text{раб}}$ , °C                       | 600                         |                                 |   |   |  |  |
| <i>Сильфонные компенсаторы</i>  |   |                             |                                 |   |   |  |  |
| <b>Внедрение:</b><br>ОКБ Соловьева, «Прогресс», им. Климова, Туполева, Ильюшина, Антонова и др.   | $d_y$ , мм                                  | 32-300                      |                                 |   |   | № 395229 от 20.10.72, № 854509 от 14.04.81, № 912337 от 16.11.81 и др. | Серийное производство из сплавов на основе титана и жаростойких сталей   |
|   | $R_{\min}$ , % L                            | 1,25-0,8                    |                                 |   |   |  |  |
|   | $P_{\text{раб}}$ , МПа                      | 500                         |                                 |   |   |  |  |
|   | $t_{\text{раб}}$ , °C                       |                             |                                 |   |   |  |  |
| <i>Виброизолирующие сильфонные компенсаторы с демпфирующими устройствами</i>  |   |                             |                                 |   |   |  |  |
|   | $d_y$ , мм                                  | 50-125                      | нет аналогов                    | Компенсаторы фирмы ГВКА                   |   | Патент РФ № 200585, № 2064117, № 2068147 и др.                         | Серийное производство для автомобилей АО «АвтоВАЗ», «Москвич», «ГАЗ» и др.   |
|   | $P_{\text{раб}}$ , МПа                      | 0,15-15                     |                                 |   |   |  |  |
|   | $t_{\text{раб}}$ , °C                       | 800                         |                                 |   |   |  |  |

основным, а тем более единственным. В мире имеется небольшое количество предприятий, таких как ГУ УАП «Гидравлика» и ОКБ «Гидромеханика» (Россия), GMBH Hydra и фирма ГВК (Германия), Апасонда (США), которые специализируются на разработке и выпуске ГМТ для различных отраслей. Указанными предприятиями внесен и вносится значительный вклад в развитие конструкций и технологий изготовления ГМТ.

Предприятиями ОКБ «Гидромеханика» и заводом «Гидравлика» (Уфа) были организованы разработка и изготовление гибких металлических рукавов, а позднее и сильфонных компенсаторов. Уральским филиалом НИИД (Уфа) были разра-

ботаны технологические процессы, специальные станки и оснастка для изготовления ГМТ.

Постепенно, по мере развития указанных предприятий и роста требований к ГМТ, было освоено производство широкой номенклатуры высококачественных ГМТ, не уступающих по своим техническим показателям лучшим зарубежным образцам [1, 2].

Большое значение для улучшения показателей ГМТ имело проведение фундаментальных научных исследований в Институте машиноведения им. акад. Благонравова Российской Академии наук, прикладных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в специали-

рованной отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Гибкие трубопроводы» Уфимского государственного авиационного технического университета, в Уральском филиале НИИД, а также в других НИИ и лабораториях вузов.

Анализ технико-экономических показателей разработанной номенклатуры гибких металлических рукавов и сильфонных компенсаторов и сопоставление с аналогичными показателями, приведенными в каталогах ведущих зарубежных фирм, показал, что разработанная номенклатура гибких металлических трубопроводов (ГМТ) не уступает лучшим зарубежным образцам (табл., где  $du$  — условный внутренний диаметр в «просвет»,  $R_{\min}$  — минимальный допустимый радиус изгиба оси рукава, выражаемый в величине условного внутреннего диаметра  $du$ ;  $p_{\text{раб}}$  и  $t_{\text{раб}}$  — максимальные давление и температура рабочей среды). Об этом свидетельствует выполнение заказов зарубежных фирм на изготовление и поставку партий гибких металлических трубопроводов. Анализ мировой патентной информации, полученные авторские свидетельства и патенты свидетельствуют о принципиальной новизне, а запросы отечественных и зарубежных потребителей — о перспективности новых конструкций ГМТ и способов их изготовления.

УДК 621.45.044; 621.317.08

## КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ф. А. ГИЗАТУЛЛИН

Факультет авиационного приборостроения УГАТУ  
Тел: (3472) 22 36 25 E-mail: ela\_nt@mail.rb.ru

Излагаются результаты разработки методов и средств контроля эффективности систем зажигания газотурбинных двигателей. Описывается схема цифрового измерителя динамических пробивных напряжений полупроводниковых свечей. Анализируется существо косвенного метода определения энергии искровых разрядов в свечах в условиях камер сгорания; приводится расчетное выражение для определения энергии разрядов, лежащее в основе метода и полученное в результате моделирования разрядных процессов в емкостных системах зажигания с учетом нелинейных свойств полупроводниковых свечей

*Емкостная система зажигания; полупроводниковая свеча; контроль эффективности; параметры искровых разрядов; цифровые измерители; измерительный комплекс; измеритель пробивного напряжения свечей; косвенный метод оценки энергии разрядов*

Задачи контроля эффективности систем зажигания двигателей возникают на различных этапах жизненного цикла, включая разработку, производство и эксплуатацию. Перечень таких задач достаточно обширен, контроль эффективности предполагает, в том числе, оценку общей работоспособности систем зажигания, оценку энергетической эффективности разрядных цепей и воспламеняющей способности свечей зажигания. В процессе разработки и доводки камер сгорания и систем воспламенения возникают, кроме того, специфические задачи контроля, заключающиеся в определении времени задержки воспламенения смеси, оценке количества жидкой фазы топлива

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусенков А. П., Лукин Б. Ю., Шустов В. С. Унифицированные гибкие элементы трубопроводов: Справочное пособие. М.: Изд-во стандартов, 1988. 266 с.
2. Крюков А. И., Глинкин И. М., Фионин В. И. Гибкие металлические рукава. М.: Машиностроение, 1970. 204 с.

## ОБ АВТОРАХ

**Итбаев Валерий Каюмович**, профессор кафедры авиационных двигателей УГАТУ. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1970), д-р техн. наук по тепловым двигателям ЛА (УГАТУ, 1996). Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники (1997). Исследования в области прочности и динамики трубопроводных коммуникаций летательных аппаратов.

**Брюханов Анатолий Михайлович**, ст. науч. сотр., зав. научно-иссл. лаб. по гибким трубопроводам кафедры авиационных двигателей УГАТУ. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1967), канд. техн. наук по технологии производства ЛА и двигателей (УАИ, 1981). Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники (1997). Исследования и разработки в области технологии производства гибких трубопроводов.

или одного из топливных компонентов, поступающих на рабочие торцы свечей.

Принятая в отрасли методика оценки технического уровня емкостных систем зажигания газотурбинных двигателей не предусматривает всех задач контроля и ориентирована на их оценку и сравнение по основному энергетическому показателю - величине накопленной энергии, а также по значениям косвенных параметров, в частности, по величине пробивного напряжения коммутирующих разрядников, частоте следования разрядов в свечах. При этом параметры искровых разрядов - энергия, длительность разрядов и амплитуда разрядного тока, определяющие энергетическую эф-