

УТЕРЖДАЮ
Global Approvals Manager
Micro Motion Inc.



Paul Schilke
September 25, 2019

РАСХОДОМЕРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ 8700 (СЕРИЯ 87), ROSEMOUNT 8750

ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ



История ревизий:

| Версия | Дата | Описание | Примечание |
|--------|------------|---------------|------------|
| 1.0 | 25.09.2019 | Первый выпуск | |
| | | | |
| | | | |

Введение

Настоящее обоснование безопасности (далее – ОБ) распространяется на расходомеры электромагнитные 8700, Rosemount 8750 (далее – расходомеры), предназначенные для измерения скорости потока и вычисления объемного расхода электропроводящих жидкостей, пульп и суспензий, имеющих минимальную электропроводность $5 \cdot 10^{-4}$ См/м.

1 Общие сведения

Основные параметры и характеристики

Основные технические характеристики расходомеров приведены в приложении В руководства по эксплуатации на расходомер №00809-0107-4444 (далее руководство);

Габаритные, установочные и присоединительные размеры, масса расходомеров приведены в разделе Габаритные чертежи листа технических данных на расходомер №00813-0107-4444.

Руководство по эксплуатации, лист технических данных доступны на сайте <http://www2.emersonprocess.com/>

2 Общие принципы обеспечения безопасности

Безопасность в отношении различных видов опасности обеспечивается:

- организацией системы качества производства;
- проектированием расходомеров в соответствии с их функциональным назначением, а также с учетом нагрузок и воздействий, которым они могут подвергаться при их эксплуатации, проведением прочностных расчетов;
- разработкой эксплуатационной документации;
- наличием обязательных предупреждающих знаков и знаков маркировки;
- проведением контрольных испытаний в процессе производства;
- организацией и осуществлением производственного контроля;
- проведением сборки и монтажа (демонтажа) в соответствии с регламентируемыми процедурами, определенные руководством по эксплуатации и инструкцией по монтажу п.1;
- эксплуатацией и техническим обслуживанием расходомеров в соответствии с требованиями нормативной и эксплуатационной документации.

2.1 Механическая безопасность обеспечивается:

- применением материалов основных деталей расходомеров, выбранных с учетом параметров и условий эксплуатации, а также с учетом опасности, исходящей от рабочей среды (материалы деталей расходомеров, контактирующих с рабочей средой приведены в приложении А руководства по эксплуатации);
- обеспечением необходимых запасов прочности для основных элементов конструкции расходомеров с учетом условий их эксплуатации. Расходомеры предназначены для работы под давлением до 42,55 МПа. Максимальное рабочее давление для выбранного типа фланцев, приведённое в приложении А руководства по эксплуатации, уменьшается в зависимости от температуры. Коэффициент запаса прочности фланцев расходомера не менее 5. Коэффициент запаса прочности элементов корпуса расходомера не менее 4;
- применением подтвержденных испытаниями конструктивных решений. Отказ расходомера не приводит к разгерметизации и утечке рабочей среды.

2.2 Термическая безопасность обеспечивается:

- выбором материалов основных деталей расходомеров с учетом обеспечения рабочего температурного диапазона;
- диапазон рабочей температуры среды от $-20\text{ }^{\circ}\text{F}$ до $350\text{ }^{\circ}\text{F}$ (от $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $177\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- повышение температуры рабочей среды приводят к понижению допустимого максимального рабочего давления среды (ASME B16.5 и/или ASME B31.3, таблица A-1);
- проведением сборки/монтажа в соответствии с регламентируемыми процедурами (раздел 2, раздел 8 руководства).

2.3 Химическая безопасность обеспечивается:

- коррозионной стойкостью материалов футеровки проточной части расходомера и электродов, контактирующих с измеряемой жидкостью. Заказчики уведомлены о том, что нельзя использовать расходомер в несовместимых агрессивных жидкостях. Химическая совместимость проверяется по справочным материалам, приведенным в руководстве по выбору материалов для электромагнитных расходомеров 00816-0107-3033, доступном на сайте <http://www2.emersonprocess.com/>.

2.4 Дополнительно механическая безопасность обеспечивается:

- устойчивостью к износу;

Частицы, содержащиеся в жидкости, могут осаждаться на датчике. Отказ датчика приводит к потере сигнала, но не разгерметизации устройства.

- устойчивостью к превышению характеристик расхода.

Максимальный расход для измерения составляет 39,37 фут/с (12 м/с).

Превышение данных пределов не приводит к повреждению устройства, однако высокие скорости могут привести к преждевременному износу, снижают срок службы датчика и могут вывести его из строя. Тем не менее, отказ датчика не приводит к разгерметизации и утечке жидкости.

3 Анализ рисков

3.1 Классификация технического состояния, отказов расходомеров

Критерием отказа является несоответствие характеристик расходомера, указанным в руководстве по эксплуатации, Приложение А.

Критическим отказом расходомера считается:

- потеря прочности проточной части расходомера;
- невыполнение функций по назначению.

Критерии предельных состояний:

- невозможность устранения неисправностей расходомера на месте эксплуатации в соответствии с разделом руководства по эксплуатации;
- начальная стадия нарушения целостности корпусных деталей (появление протечек и конденсата на корпусе расходомера, появление конденсата в блоке электроники расходомера);
- недопустимое изменение размеров элементов по условиям прочности и функционирования расходомеров;
- возникновение трещин на деталях расходомера.

3.2 Перечень нежелательных событий (в т.ч. критических отказов), источников опасностей, факторов риска, условий возникновения и развития нежелательных событий, оценка опасности и риска, предварительные рекомендации по уменьшению опасностей (см. таблицу).

| | Тип риска | Вероятность возникновения риска | Ограничение риска | | | Примечание |
|---|--|---------------------------------|---|---|--|---|
| | | | Проектирование, производство | | Применение | |
| | | | Конструкция | Контроль производственных процессов | Требования по предупреждению возникновения риска | |
| | <p>Механические опасности: опасности, обусловленные выбросом рабочей среды (нарушение герметичности мест соединений). Связаны с: - ошибками монтажа; - ошибками обслуживающего персонала; - износом в процессе эксплуатации</p> | | | | | |
| 1 | Разрыв по причине превышения максимально допустимого рабочего давления | Маловероятно | Применение проверенных материалов. Расчет прочности. | Неразрушающий /NDT/ контроль сварных соединений. Испытание давлением | См. инструкцию по монтажу | Требует эксплуатации оборудования только в условиях, предусмотренных эксплуатационной документацией. Величина расчетного давления должна быть не менее максимально допустимого рабочего давления, для которого предназначено оборудование. |
| 2 | Разрыв по причине превышения максимально допустимой температуры | Маловероятно | Применение проверенных материалов. Расчет прочности. | Неразрушающий /NDT/ контроль сварных соединений. Испытание давлением | См. инструкцию по монтажу | Требует эксплуатации оборудования только в условиях, предусмотренных эксплуатационной документацией. Величина расчетной температуры предусматривает безопасные пределы применения оборудования. |
| 3 | Разрыв по причине превышения предела текучести | Маловероятно | Применение проверенных материалов. Расчет прочности. | - | См. инструкцию по монтажу | Требует эксплуатации оборудования только в условиях, предусмотренных эксплуатационной документацией |

| | Тип риска | Вероятность возникновения риска | Ограничение риска | | | Примечание |
|---|---|--|-------------------------------------|--|---|--|
| | | | Проектирование, производство | | Применение | |
| | | | Конструкция | Контроль производственных процессов | Требования по предупреждению возникновения риска | |
| 4 | Разрыв по причине увеличения допустимых сил и моментов, поддерживающих и закрепляющих конструкций | Маловероятно | | | См. инструкцию по монтажу | Требует соответствующей установки/закрепления оборудования согласно документации изготовителя. Выполняется монтажной организацией и организацией, эксплуатирующей оборудование |
| 5 | Разрыв по причине коррозии | Маловероятно | Расчет прочности | Контроль размеров | См. руководство по эксплуатации | Требует применение коррозионноустойчивых материалов по отношению к измеряемой среде. Расчет толщины стенки с поправкой на коррозию и эрозию. |
| 6 | Разрыв по причине износа | Невероятно | Расчет прочности | Контроль размеров | См. руководство по эксплуатации | Требует эксплуатацию оборудования согласно эксплуатационной документации. Износ прежде приводит к критическому отказу - нарушение функциональности, который должен быть своевременно диагностирован обслуживающим персоналом. Не приводит к разгерметизации устройства. Эксплуатация оборудования должна быть прекращена по достижению предельного состояния или окончания срока службы. |
| 7 | Разрыв сварных соединений при монтаже оборудования | Маловероятно | | | См. инструкцию по монтажу | Требует обеспечения качества сварных соединений при монтаже оборудования. Выполняется монтажной организацией |

| | <i>Тип риска</i> | <i>Вероятность возникновения риска</i> | <i>Ограничение риска</i> | | | <i>Примечание</i> |
|---|--|--|-------------------------------------|--|---|---|
| | | | <i>Проектирование, производство</i> | | <i>Применение</i> | |
| | | | <i>Конструкция</i> | <i>Контроль производственных процессов</i> | <i>Требования по предупреждению возникновения риска</i> | |
| 8 | Разрыв сварных соединений при изготовлении оборудования | Невероятно | | Неразрушающий /NDT/ контроль сварных соединений Испытание давлением | | Требует исполнение сварных соединений изготовителем в соответствии с утвержденными WPS и WPQR |
| 9 | Разрыв по причине превышения максимальной характеристики расхода среды | Невероятно | | | См. руководство по эксплуатации | Требует эксплуатацию оборудования согласно эксплуатационной документации. Превышение характеристик расхода приводит к ускоренному износу. |
| <p>Термические опасности, приводящие к: ожогу или другому повреждению от касания с предметами или материалами с высокой температурой из-за нарушения герметичности мест соединений, а также теплового излучения. Связаны с:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ошибками монтажа; - Ошибками обслуживающего персонала | | | | | | |
| 10 | Риск нанесения ущерба здоровью вследствие температурного воздействия | Маловероятно | | | См. инструкцию по монтажу; См. руководство по эксплуатации | Требует эксплуатацию оборудования только в условиях, предусмотренных эксплуатационной документацией. Соблюдение правил техники безопасности и охраны здоровья. Выполняется организацией, эксплуатирующей оборудование |
| <p>Электрические опасности: опасности от поражения электрическим током. Связаны с:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ошибками монтажа; - ошибками обслуживающего персонала. | | | | | | |

| | <i>Тип риска</i> | <i>Вероятность возникновения риска</i> | <i>Ограничение риска</i> | | | <i>Примечание</i> |
|--|---|--|---------------------------------------|--|---|--|
| | | | <i>Проектирование, производство</i> | | <i>Применение</i> | |
| | | | <i>Конструкция</i> | <i>Контроль производственных процессов</i> | <i>Требования по предупреждению возникновения риска</i> | |
| 11 | Риск нанесения ущерба здоровью вследствие поражения электрическим током | Маловероятно | Применение регламентов Directive LVD | Контроль прочности и сопротивления изоляции. | См. инструкцию по монтажу; См. руководство по эксплуатации | Требует эксплуатацию оборудования только в условиях, предусмотренных эксплуатационной документацией. Соблюдение правил техники безопасности и охраны здоровья. Выполняется организацией, эксплуатирующей оборудование |
| <p>Взрывобезопасность: Опасность воспламенения взрывоопасной окружающей среды. Связаны с неправильной эксплуатацией во взрывоопасных зонах: - ошибками монтажа; - Ошибками обслуживающего персонала.</p> | | | | | | |
| 12 | Риск нанесения ущерба вследствие воспламенения взрывоопасной окружающей среды | Маловероятно | Применение регламентов Directive ATEX | Пооперационный производственный контроль | См. инструкцию по монтажу; См. руководство по эксплуатации | Требует обеспечение монтаж оборудования согласно документации изготовителя. Выполняется монтажной организацией и организацией, эксплуатирующей оборудование. Требует эксплуатацию оборудования только в условиях, предусмотренных эксплуатационной документацией. |

| | <i>Тип риска</i> | <i>Вероятность возникновения риска</i> | <i>Ограничение риска</i> | | | <i>Примечание</i> |
|----|--|--|--------------------------------------|--|---|--|
| | | | <i>Проектирование, производство</i> | | <i>Применение</i> | |
| | | | <i>Конструкция</i> | <i>Контроль производственных процессов</i> | <i>Требования по предупреждению возникновения риска</i> | |
| | Пожаробезопасность Опасность воспламенения. | | | | | |
| 13 | Риск нанесения ущерба вследствие воспламенения расходомера | Невероятно | Применение регламентов Directive LVD | Пооперационный производственный контроль | См. инструкцию по монтажу; См. руководство по эксплуатации | Выполнен из негорючих и малогорючих материалов |

3.3 Вероятность возникновения опасных ситуаций, отказов расходомеров, связанных с различными видами опасностей (механические, термические, электрические, ошибки монтажа, разрушение в процессе работы и т. д.) оценивается как невысокая, т. к.:

- расходомеры и его составные части сконструированы так, что они имеют достаточную устойчивость и стабильность при заранее предусмотренных условиях эксплуатации,
- различные части расходомеров и механические соединения выдерживают нагрузки, которым они подвергаются при использовании по назначению;
- применяемые при изготовлении материалы имеют достаточную прочность в заданных условиях применения;
- в разделах руководства присутствуют предупредительные надписи;
- руководство по эксплуатации содержит перечень возможных неисправностей и пути их устранения;
- пользователи обязаны иметь защиту от избыточного давления в трубопроводе с установленным расходомером.

3.4 Для уменьшения опасности поражения электрическим током предусмотрены мероприятия:

- подключение питания расходомера осуществляется согласно требованиям руководства по эксплуатации;
- конструкция расходомера исключает контакт человека с токоведущими частями;
- все клеммы соединены в клеммные колодки, выполненные из материала, исключающего пробой;
- клеммы с высоким напряжением и током закрыты крышками, выполненными из того же материала, что и клеммные колодки;
- при производстве расходомеров выполняются электрические тесты, включающие измерение сопротивления и проверку прочности изоляции.

3.5 Конструкция расходомера исключает опасные ситуации, связанные с ошибками монтажа:

- маркировка расходомера содержит информацию необходимую для безопасного применения;
- руководство по эксплуатации содержит предупредительные надписи;

- руководство по эксплуатации содержит перечень возможных неисправностей и методы их устранения.

3.6 Возможные ошибочные действия персонала, приводящие к инциденту или аварии:

- эксплуатация расходомера в условиях и режимах, не предусмотренных эксплуатационной документацией;
- проведение работ по монтажу, техническому обслуживанию и ремонту при наличии давления рабочей среды в трубопроводе.

3.7 Для исключения ошибок персонала при эксплуатации расходомера в руководстве указана периодичность проверок и текущего обслуживания, необходимого для безопасной эксплуатации расходомера.

3.8 Для исключения ошибок персонала при проведении работ по монтажу и ремонту расходомера в руководстве по эксплуатации указаны правила проведения работ по монтажу и ремонту расходомера.

3.9 В случае возникновения инцидента или критического отказа эксплуатация расходомера должна быть приостановлена до устранения неисправности. При аварийной ситуации следует руководствоваться инструкцией эксплуатирующей организации.

3.10 В случае достижения предельного состояния эксплуатация расходомера должна быть прекращена.

3.11 Расходомер не имеет заглушек или отверстий за исключением, указанных ниже.

Доступна дополнительная конфигурация (8705 с опцией W1 или M1) с предохранительным клапаном в корпусе катушки для стравливания испарений технологической жидкости. Наличие жидкости в корпусе катушки возможно только при разрушении уплотнения электрода/футеровки. Подобный отказ характеризуется потерей сигнала расхода.

Доступна еще одна конфигурация (8705 с опцией M3 или M4), в которой камеры из нержавеющей стали привариваются к проточной части в местах установки электродов. В конструкцию включены средства для стравливания испарений. Наличие жидкости в герметичных камерах электрода возможно только при разрушении уплотнения электрода/футеровки. Подобный отказ характеризуется потерей сигнала расхода.

4 РАСЧЕТ прочности

4.1 Общие сведения

Прочностные расчеты проводятся в соответствии с требованиями Европейская директива по оборудованию, работающему под давлением 97/23/ЕС, Приложение I, Раздел 2.2, Расчет достаточной прочности по ASME В31.3 Технологический трубопровод

В общем виде расчет рабочего давления осуществляется по ASME В31.3, Нормы технологического трубопровода, Параграф 304, формулы 3а и 3б.

$$t = \frac{PD}{2(SE + PY)},$$

$$t = \frac{P(d + 2c)}{2[SE - P(1 - Y)]},$$

где:

P – рабочее давление, фунт/дюйм²

D – наружный диаметр трубопровода в дюймах

d – внутренний диаметр трубопровода в дюймах

c – сумма механических допусков (резьба или глубина канавки) плюс допуск на коррозию и эрозию

S – значение нагрузки из таблицы А-1

E – коэффициент качества из таблицы А-1А или А-1В

Y – коэффициент из таблицы 304.1.1

t – толщина стенки, рассчитанная по номинальному давлению из 304.1.2

Фланцы по стандартам:

| | |
|------------|---|
| ASME B16.5 | ТРУБНЫЕ ФЛАНЦЫ И ФЛАНЦЕВЫЕ ФИТИНГИ: NPS 1/2 ПО NPS 24 |
| AWWA C207 | СТАЛЬНЫЕ ТРУБНЫЕ ФЛАНЦЫ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ – РАЗМЕРЫ ОТ 4 ДО 144 ДЮЙМОВ (ОТ 100 ДО 3600 ММ) |
| MSS SP-44* | ФЛАНЦЫ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ |
| JIS B 2220 | ФЛАНЦЫ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ |
| EN 1092-1 | ФЛАНЦЫ И СОЕДИНЕНИЯ – КРУГЛЫЕ ФЛАНЦЫ ДЛЯ ТРУБ, КЛАПАНОВ, ФИТИНГОВ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ, ОБОЗНАЧЕНИЕ PN – ЧАСТЬ 1: СТАЛЬНЫЕ ФЛАНЦЫ |
| AS 2129 | ФЛАНЦЫ ДЛЯ ТРУБ, КЛАПАНОВ И ФИТИНГОВ |

* Данные фланцы соответствуют всем требованиям за исключением размеров втулки. Наши втулки короче и толще стандартных (см. чертеж 08705-1005). Расчет нагрузки втулки для действительных размеров осуществляется по приложению 2 раздела VIII стандарта ASME по котлам и резервуарам, работающим под давлением. Те же требования к конструкции втулки используются MSS SP-44 (см. раздел 5.3.1 MSS SP-44). Расчеты приведены в соответствующем файле.

Расчет давления электродов выполняется по ASME B31.3, раздел 304.7.2.

Допустимые нагрузки аутентичных нержавеющей сталей, используемые при расчете, ниже пределов, приведенных в Параграфе 7.1.2 Приложения 1 директивы 97/23/ЕС.

Характеристики материала основаны на критериях расчета в ASME B31.3 и ASME раздел II, либо аналогичных.

Дополнительно, все материалы, используемые в расходомерах, обладают растяжением свыше 14%. По ASME B31.3 допускается использование нержавеющей сталей при указанных температурах без динамических испытаний. Растяжение данных материалов составляет от 20 до 45%, типовые значения в протоколах испытаний значительно выше. По нормам ASME требуется, чтобы указанные и типовые значения растяжения были значительно выше 14% для обеспечения адекватного уровня безопасности.

Все проточные части датчиков расхода расходомера, имеют достаточную прочность для сдерживания указанного максимального рабочего давления со значительным запасом прочности, а также соответствуют ASME B31.3 и Европейской директиве по оборудованию, работающему под давлением 97/23/ЕС. Расчеты на прочность приведены в Приложении А.

5 Обеспечение безопасности в процессе производства

Технологические процессы задокументированы, процедуры качества строго исполняются квалифицированным персоналом.

В процессе производства обеспечивается входной контроль и прослеживаемость используемых материалов:

- Все материалы, используемые в деталях расходомера, работающих под давлением, соответствуют спецификации. Протоколы испытаний сертифицированного материала по EN10204 типа 3.1 предоставляются для всех деталей, работающих под давлением.

В процессе производства осуществляются контрольные проверки сварных швов и испытания расходомеров (неразрушающий контроль, гидростатические испытания):

- Коэффициенты сварных соединений, используемых при расчетах, базируются на ASME 31.3, Параграф 302.3.4. К ним относятся:
 - 0,8 для сварной трубы по ASTM A312
 - 1,0 для бесшовной трубы по ASTM A312
 - 1,0 для трубы ASTM A358 класса 1, 3 или 4 (необходим 100% радиографический контроль)
- Все расходомеры проходят гидростатические испытания давлением. Гидростатическое испытание каждого расходомера проводится при 1,5-кратном превышении максимального рабочего давления. Это соответствует требованию, изложенному в Параграфе 7.4.

Требования к гидростатическому испытанию приведены на всех чертежах. Технологические процессы базируются на данных чертежах и включают все указанные требования.

| Номер чертежа | Описание |
|----------------------|------------------------------|
| 08705-0003 | Модель 8705 0.5 – 5 дюймов |
| 08705-0004 | Модель 8705 0.6 – 24 дюйма |
| 08705-0006 | Модель 8705 0.30 – 48 дюймов |
| 08711-0500 | Модель 8711 0.15 – 0,3 дюйма |
| 08711-0501 | Модель 8711 0.5 – 1 дюйм |
| 08711-0502 | Модель 8711 1.5 – 8 дюймов |
| 08721-0003 | Модель 8721 0.5 – 4 дюйма |

Примечание для модели 8711:

На модели 8711 бесфланцевого исполнения гидростатическое испытание выполняется до финишной сварки корпуса катушки. Однако в документации указывается, что это несет незначительный риск изменения способности выдерживать давление.

Каждый этап производственного процесса документируется.

6 Требования к персоналу

6.1 К эксплуатации расходомеров допускается квалифицированный персонал, ознакомленный с их устройством, руководством по эксплуатации, имеющий опыт обслуживания аналогичных устройств.

6.2 Обслуживающий персонал должен пройти инструктаж по технике безопасности, учитывающий специфику применения расходомеров в конкретном технологическом процессе.

6.3 Эксплуатация взрывозащищенных расходомеров должна проводиться только квалифицированным персоналом в соответствии с нормативными документами, регламентирующими применение электрооборудования во взрывоопасных зонах.

7 Эксплуатационные ограничения и условия применения.

7.1 Безопасное применение расходомеров возможно только в условиях, соответствующих требованиям, изложенным в эксплуатационной документации.

При эксплуатации расходомеров следует руководствоваться требованиями, приведенными в эксплуатационной документации на расходомер.

В эксплуатационной документации учтены все аспекты безопасности расходомеров:

- ограничен круг лиц, допущенных к управлению и обслуживанию;
- изложены приёмы работы, применение которых снижает риск причинения ущерба и вреда здоровью;
- приведены требования по техническому обслуживанию, выполнение которых обеспечит поддержание расходомеров в исправном состоянии.

7.2 На расходомерах выполнена маркировка, содержащая информацию об изделии и его изготовителе, а также данные, необходимые для монтажа и эксплуатации.

7.3 В период эксплуатации обслуживающий персонал должен следить за исправным состоянием оборудования, своевременно обеспечивать техническое обслуживание и ремонт. Периодичность технического обслуживания расходомера приведена в руководстве по эксплуатации.

7.4 Эксплуатация во взрывоопасных зонах

Расходомеры должны применяться в соответствии с установленными требованиями нормативных документов, регламентирующих применение электрооборудования во взрывоопасных зонах.

Не допускается применение расходомеров, не соответствующих требованиям эксплуатационной документации.

Не допускается применение расходомеров в условиях, не соответствующих требованиям условиям, указанным в эксплуатационной документации.

8 Действия персонала в случае инцидента, критического отказа или аварии

При возникновении аварийной ситуации следует руководствоваться инструкцией эксплуатирующей организации.

Эксплуатация расходомеров должна быть прекращена в случае возникновения критического отказа, достижения предельного состояния или окончания срока службы.

9 Требования безопасности при утилизации

9.1 Расходомеры подлежат утилизации после принятия решения эксплуатирующей организации о невозможности или нецелесообразности их ремонта или недопустимости их дальнейшей эксплуатации.

9.2 При демонтаже расходомеров и их деталей к обеспечению безопасности предъявляются те же требования, что и при монтаже перед пуском в эксплуатацию.

9.3 Для утилизации расходомеров не требуется применения специальных способов.

Приложение А
Расчеты на прочность



Rosemount Flow Division
12001 Technology Drive
Eden Prairie, MN 55344 USA

**ОТЧЕТ ПО КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАСХОДОМЕРА
ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ДОСТАТОЧНОЙ ПРОЧНОСТИ**

1 Применение

Настоящий документ определяет технические характеристики, материалы и подтверждение достаточной прочности для проточных частей электромагнитных расходомеров

2 Ссылки

- ASME B31.1 Технологические трубопроводы
- PED 2014/68/EU

3 История ревизий:

| Ревизия | Дата | Описание | Утверждено |
|---------|-----------------|--|-------------|
| 1 | 31 августа 2009 | Новый документ | S. Rogers |
| 2 | 21 октября 2009 | Добавлена ссылка на чертеж фланца на стр. 6 | S. Rogers |
| 3 | 9 марта 2010 | Добавлена 8705-1103 ссылка на чертеж фланца на стр. 6 | J. Pettit |
| 4 | 6 декабря 2013 | Добавлен абзац на испытание на удар | E. Anderson |
| 5 | 31 января 2014 | М (8705 & 8711) и L (8711) проточки, как часть 8705 и 8711 проточек | E. Anderson |
| 6 | 15 января 2015 | Добавлен 8750 | E. Anderson |
| 7 | 26 арта 2019 | 1) Добавлены MS модели 2) Обновлены текущие стандарты 3) Обновлен формат | M. Kwong |

4 Номера моделей, размеры и соединения

| Номер модели | Описание | Размеры | Соединение с процессом | Номинальное давление |
|--------------|------------------------------|---|------------------------|----------------------|
| 8705 | Фланцевая проточная часть | 0,5 - 36 дюймов NPS | Фланцевое | ANSI Класс 900 Макс. |
| 8707 | Фланцевая проточная часть | 3 - 36 дюймов NPS | Фланцевое | ANSI Класс 900 Макс. |
| MS | Фланцевая проточная часть | 3 - 36 дюймов NPS | Фланцевое | ANSI Класс 900 Макс. |
| 8711 | Безфланцевая проточная часть | 0,5 - 8 дюймов NPS (0.5" NPS доступен с проточной частью $\varnothing 0.15"$ и $\varnothing 0.3"$) | Бесфланцевое | ANSI Класс 300 Макс. |
| 8721 | Гигиеническое исполнение | 0,5 - 4 дюйма NPS | IDF санитарные фитинги | 300 psi max |
| 8750 | Фланцевая проточная часть | 0,5 - 36 дюймов NPS | Фланцевое | ANSI Класс 900 Макс. |

5 Спецификации на электромагнитные расходомеры

В данном разделе описаны рабочие параметры для различных типов проточных частей.

5.1 Модели 8705, 8750, 8707 и MS

Расчетная температура

| Футеровка | Температура (F) | Температура (C) |
|--------------------------|-------------------|-------------------|
| Футеровка из ПТФЭ | от -20°F до 350°F | от -29°C до 177°C |
| Футеровка из ЭТФЭ | от -20°F до 300°F | от -29°C до 149°C |
| Футеровка из ПФА | от -20°F до 350°F | от -29°C до 177°C |
| Футеровка из полиуретана | от 0°F до 140°F | от 18°C до 60°C |
| Футеровка из неопрена | от 0°F до 185°F | от 18°C до 85°C |
| Футеровка из линатекса | от 0°F до 158°F | от 18°C до 70°C |

Расчетное давление при температуре окружающей среды

| Класс фланца | Стандарт на фланец | Максимальное допустимое давление | Максимальное допустимое давление (единицы измерения, как в стандарте) |
|--------------|--------------------|----------------------------------|---|
| Класс D | AWWA C207 | 150 psi | 150 psi |
| Класс 150 | ANSI B16.5 | 285 psi | 285 psi |
| Класс 300 | ANSI B16.5 | 740 psi | 740 psi |
| Класс 600 | ANSI B16.5 | 1480 psi | 1480 psi |

| | | | |
|------------|---------------|----------|----------|
| Класс 900 | ANSI B16.5 | 2220 psi | 2220 psi |
| Класс 1500 | ANSI B16.5 | 3705 psi | 3705 psi |
| Класс 2500 | ANSI B16.5 | 6170 psi | 6170 psi |
| PN10 | DIN/EN 1092-1 | 145 psi | 10 бар |
| PN16 | DIN/EN 1092-1 | 232 psi | 16 бар |
| PN25 | DIN/EN 1092-1 | 363 psi | 25 бар |
| PN40 | DIN/EN 1092-1 | 580 psi | 10 бар |
| JIS 10K | JIS B2220 | 203 psi | 1,4 МПа |
| JIS 20K | JIS B2220 | 493 psi | 3,4 МПа |
| JIS 40K | JIS B2220 | 986 psi | 6,8 МПа |
| Таблица D | AS 2129 | 138 psi | 950 кПа |
| Таблица E | AS 2129 | 138 psi | 950 кПа |
| Класс 150 | MSS SP-44 | 285 psi | 285 psi |
| Класс 300 | MSS SP-44 | 740 psi | 740 psi |

Снижение значений давления: Снижение значений давления происходит в зависимости от температуры рабочей среды, определенной соответствующим стандартом на фланец.

Статья 3, раздел 1.3, (а), первый абзац, Группа жидкостей 1. Категории согласно Приложению II, Таблица 6: SEP, Категории 1, 2, и 3. Дополнительная информация по размеру и фланцу см. «ALL_PED Categories.xls»

5.2 Модель 8711

Расчетная температура

| Футеровка | Температура (F) | Температура (C) |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| Футеровка из ПТФЭ | от -20°F до 350°F | от -29°C до 177°C |
| Футеровка из ЭТФЭ | от -20°F до 300°F | от -29°C до 149°C |
| Футеровка из ПФА | от -20°F до 200°F | от -29°C до 93°C |

Расчетное давление при температуре окружающей среды

| Размер и рейтинг | Рейтинг |
|-------------------------------------|---------|
| 0.5 дюйма – 8 дюймов ANSI Класс 300 | 720 psi |
| 0.5 дюйма – 8 дюймов ANSI Класс 150 | 285 psi |

Снижение значений давления: Снижение значений давления происходит в **зависимости** от температуры рабочей среды, определенной ASME B16.5 стандартом на фланец.

Статья 3, раздел 1.3, (а), первый абзац, Группа жидкостей 1. Категории согласно Приложению II, Таблица 6: SEP, Категории 1, 2, и 3. Дополнительная информация по размеру и фланцу см. «ALL_PED Categories.xls»

5.3 Модель 8721

Расчетная температура

| Футеровка | Температура (F) | Температура (C) |
|------------------|------------------|-------------------|
| Футеровка из ПФА | от 14°F до 320°F | от -10°C до 160°C |

Расчетное давление

| Размер | Рейтинг |
|----------------------|---------|
| 0.5 дюйма – 2 дюймов | 300 psi |
| 2.5 дюйма | 240 psi |
| 3 дюйма | 198 psi |
| 4 дюйма | 148 psi |

Снижение значений давления: Нет снижения значений давления в зависимости и от температуры рабочей среды для этого продукта.

Статья 3, раздел 1.3, (а), первый абзац, Группа жид костей 1. Категории согласно Приложению II, Таблица 6: SEP, Категории 1, 2, и 3. Дополнительная информации по размеру и фланцу см. «ALL_PED Categories.xls»

6 Спецификация на материалы

| Материалы трубы и фланца | Минимальная прочность на разрыв (psi) | Температурные ограничения* |
|--|---------------------------------------|----------------------------|
| Трубы | | |
| 304/304L (две марки) Нержавеющая сталь по ASTM A312 или ASTM A358* | 75 000 | от -20° F до +350° F |
| 316/316L (два марки) Нержавеющая сталь по ASTM A312 или ASTM A358* | 75 000 | от -20° F до +350° F |
| Фланцы | | |
| 304/304L (с двумя значениями) Нержавеющая сталь по ASTM A182* | 75 000 | от -20° F до +350° F |
| 316/316L (с двумя значениями) Нержавеющая сталь по ASTM A182* | 75 000 | от -20° F до +350° F |
| Углеродистая сталь по ASTM A105 | 70 000 | от 32°F до +350°F |
| Отливки | | |
| CF8M по ASTM A351* | 70 000 | от -20° F до +350° F |

*B31.3 (2010) Раздел 323.2.2.f.2.a позволяет использовать соответствующие материалы вплоть до минимальной температуры -150°F без необходимости проведения испытаний на удар

7 Допустимое напряжение материала по ASME B31.3, таблица A-1

| Материалы трубы и фланца | Макс допустимое напряжение (psi) @100°F |
|---|---|
| Трубы | |
| 304/304L (две марки) Нержавеющая сталь по ASTM A312 или ASTM A358 | 20 000 |
| 316/316L (две марки) Нержавеющая сталь по ASTM A312 или ASTM A358 | 20 000 |
| Фланцы | |
| 304/304L (две марки) Нержавеющая сталь по ASTM A182 | 20 000 |
| 316/316L (две марки) Нержавеющая сталь по ASTM A182 | 20 000 |
| Углеродистая сталь по ASTM A105 | 23 000 |
| Отливки | |
| CF8M по ASTM A351 | 20 000 |

Максимально допустимое напряжение уменьшается с температурой; однако класс фланца при этом также понижается. Во всех случаях понижение класса фланца, при изменении температуры, больше, и, следовательно, это будет определять общее давление при данной температуре.

8 Анализ прочности

Анализ прочности проводится по ASME B31.3 Коды технологических трубопроводов.

8.1 Конструкция

8705, 8750, 8707 и MS фланцевые проточные части изготовлены из трубы, приваренной к двум технологическим фланцам. Каждая труба имеет неметаллическую футеровку, с двумя или тремя электродами, проходящими сквозь трубу и футеровку. Технические характеристики технологического фланца определяют конструкцию или максимальное рабочее давление расходомера, при этом труба, электроды и сварные соединения изготавливаются так, чтобы соответствовать классу фланца или быть выше.

8711 0.5 дюймов – 8 дюймов безфланцевые проточные части являются корпусом расходомера и представляют собой трубу или отливку, рассчитанную на номинальное давление по ANSI класс 300. Проточные части 0,15 дюйма и 0,30 дюйма изготавливаются механической обработкой и соответствуют классу давления ANSI 150. Все проточные части предназначены для монтажа между любыми фланцами с одинаковым или меньшим номинальным давлением. Каждая проточная часть футерована неметаллическим вкладышем и имеет два или три электрода, которые проходят в корпус сквозь футеровку.

8721 0.5 дюймов – 8 дюймов проточные части для гигиенического исполнения трубы изготавливаются из отрезка трубы, приваренного к фитингу IDF санитарного винтового типа. Номинальное давление составляет 300 psi до 2 дюймов и уменьшается для больших типоразмеров, таким образом, что значение $PS \cdot DN$ остается ниже 1000. Модель 8721 допускается только с жидкостями группы 2, так как она используется в пищевой промышленности. Таким образом, модель 8721 спроектирована в соответствии со здоровой инженерной практикой и не подпадает под все требования PED 2014/68/EU, приложение I.

8.2 Фланцы:

Модели 8705, 8750, 8707 и MS для проточных частей используются стандартные фланцы в соответствии с ASME B16.5, DIN/EN 1092-1 и нормативами других органов по стандартизации (см. таблицу ниже и стр. 2, расчетное давление). Эти стандарты определяют номинальное давление фланцев, которое определяет номинальное давление электромагнитного расходомера. Устойчивость к воздействию давления для каждого фланца, а также стандарт определяется соответствующими организациями по стандартизации; компания Rosemount Inc. не производила оценку расчетного давления самих фланцев.

| Стандарт на фланцы | Наименование | Номер чертежа |
|---|---|-------------------------|
| ASME B16.5 | ФЛАНЦЫ ТРУБ И ФЛАНЦЕВЫЕ ФИТИНГИ: От NPS 1/2 до NPS 24 | 08705-1005 и 08705-1105 |
| AWWA C207 | ФЛАНЦЫ СТАЛЬНЫХ ТРУБ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ - РАЗМЕР ОТ 4 ДО 144 ДЮЙМОВ (ОТ 100 ДО 3600 ММ) | 08705-1005 |
| MSS SP-44* | ФЛАНЦЫ СТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ | 08705-1005 |
| JIS B 2220 | ФЛАНЦЫ СТАЛЬНЫХ ТРУБ | 08705-1037 |
| EN 1092-1 | ФЛАНЦЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ - КРУГЛЫЕ ФЛАНЦЫ ДЛЯ ТРУБ, АРМАТУРЫ, ФИТИНГОВ И ПРИНАДЛЕЖНОСТЕЙ, С УСТАНОВЛЕННЫМ УРОВНЕМ ПО ПЕРЕПАДУ ДАВЛЕНИЯ - ЧАСТЬ 1: СТАЛЬНЫЕ ФЛАНЦЫ | 08705-1003 и 08705-1103 |
| AS 2129 | ФЛАНЦЫ ДЛЯ ТРУБ, АРМАТУРЫ И ФИТИНГОВ | 08705-1036 |
| * Данные фланцы соответствуют всем требованиям, кроме требований, предъявляемых к размерам раструбов. Наши раструбы короче и толще, чем стандартные (см. чертеж 08705-1005). Расчеты напряжения для фактических размеров раструбов выполнены и находятся в соответствии с Приложением 2 раздела VIII стандарта ASME Котлы и сосуды высокого давления. Критерии для конструкции раструбов те же, что используются во фланцах MSS SP-44 (см. раздел 5.3.1 MSS SP-44). Расчеты приведены в файле проектных данных. | | |

8.3 Труба

Прочность трубы определена в соответствии со стандартом для технологических трубопроводов ASME B31.3, пункт 304, уравнения 3а и 3б. Сведения по этим расчетам можно найти в следующих чертежах:

| Модель | Чертеж |
|--------|-------------------------|
| 8705 | 08705-0014 |
| 8707 | 08705-0014 |
| MS | 08705-0014 |
| 8711 | 08711-1014 и 08711-1015 |
| 8721 | 08721-0014 |
| 8750 | 0850W-0014 |

Во всех случаях в чертеже, на который дается ссылка, указано, что труба имеет достаточную прочность для безопасного выдерживания давления со значительным запасом прочности.

8.4 Электроды (соответствуют B31.3)

Расчет давления следующих электродов выполнен в соответствии с ASME B31.3, раздел 304.7.2(a) и/или (с), в зависимости от конструкции электрода.

| Наименование электрода | Модель | Коды исполнения | Метод | Результаты |
|------------------------|-------------------------------|--|---|--|
| Стандартный электрод | 8705, 8750, 8707, MS | A, E, B, F (с фланцами на 1000 psi или менее) | 304.7.2(a) Интенсивная успешная эксплуатация | Более 50 000 штук продано с октября 2004 г. по январь 2009 г. Известная интенсивность отказов составляет менее 0,1%. Нет документально подтвержденных отказов, произошедших по причине недостаточной прочности конструкции. |
| Стандартный электрод | 8711 | A, E, B, F | 304.7.2(a) Интенсивная успешная эксплуатация | Более 21 000 штук продано с октября 2005 г. по январь 2009 г. Известная интенсивность отказов составляет менее 0,03%. Нет документально подтвержденных отказов, произошедших по причине недостаточной прочности конструкции. |

| | | | | |
|--|----------------------|---|---|---|
| Электрод высокого давления (по ANSI Класс 900) | 8705, 8750, 8707, MS | A, E, B, F (с фланцами на 1000 psi или более) | 304.7.2(a) Интенсивная успешная эксплуатация | Более 1000 штук продано с октября 2004 г. по январь 2009 г. Известная интенсивность отказов составляет менее 0,2%. Нет документально подтвержденных отказов, произошедших по причине недостаточной прочности конструкции. |
| Электрод, демонтируемый на месте | 8705 | R | 304.7.2(a) Интенсивная успешная эксплуатация | Более 240 штук продано с октября 2004 г. по январь 2009 г. Нет задокументированных отказов, поэтому известная интенсивность отказов должна составлять менее 1/240, или 0,4%. |
| Электрод с обратной посадкой | 8705, 8750, 8707, MS | C, G | 304.7.2(c) Проверочные испытания | Испытано при максимальном давлении 4150. Расчетное макс. рабочее давление 645 psi. |
| Фракционный электрод | 8711 | A, E (для линий размером 15F и 30F) | 304.7.2(a) Интенсивная успешная эксплуатация | Более 4000 штук продано с октября 2005 г. По июнь 2009 г. Нет документально подтвержденных отказов, произошедших по причине недостаточной прочности конструкции. |
| Гигиенический электрод | 8721 | Все | 304.7.2(a) Интенсивная успешная эксплуатация | Более 3000 штук продано с октября 2005 г. по июнь 2009 г. Нет задокументированных отказов, поэтому известная интенсивность отказов должна составлять менее 1/3261, или 0,03%. |

8.5 Сварное соединение

Соединение труб и фланцев осуществляется при помощи сварки. Сварка осуществляется передним и подварочным угловым швом (см. ASME B31.3, рис. 328.5.2) в случае приварных охватывающих фланцев, или в стык в случае воротниковых фланцев. Сведения по сварным изделиям можно найти и на чертежах 08705-1500, 08705-1505, 08705-1510, 08705-1511, и 08711-1500.

8.6 Воротниковые фланцы

Обработка концов воротниковых фланцев соответствует ASME B31.3, раздел 328.4. Сварка производится в соответствии с разделом 328 - 331 и проходит приемочный контроль в соответствии с таблицей 341.3.2 и в соответствии с разделом 341.4.1 для Категории М Сред.

8.7 Приварные охватывающие фланцы

Минимальные размеры сварных швов для приварных охватывающих фланцев соответствуют указанным на рисунках 328-5.2А и 328-5.2В. Сварка производится в соответствии с разделом 328 - 331 и проходит приемочный контроль в соответствии с таблицей 341.3.2 и в соответствии с разделом 341.4.1 для Категорий М Сред.

8.8 Коэффициенты качества сварного шва (объединённые коэффициенты)

| Сварной шов | Коэффициенты качества сварного шва | Источник |
|---|------------------------------------|--------------------------------|
| ASTM A312 Труба, свариваемая продольным швом | 0.8 | ASME B31.3 Таблица A-1B |
| ASTM A312 Бесшовная труба | 1.0 | ASME B31.3 Таблица A-1B |
| ASTM A358 Труба, свариваемая продольным швом (Класс 1, 3 или 4) | 1.0 | ASME B31.3 Таблица A-1B |
| V-образный шов, кольцевой, приварка трубы к фланцу | Н/Д | ASME B31.3 Толкование 1-42 |
| Угловой шов, кольцевой, приварка трубы к фланцу | Н/Д | ASME B31.3 Толкование 1- 42 |

9 Выводы

Все исполнения проточных частей расходомера электромагнитного 8700 и MS перечисленные выше, имеют достаточную прочность для сдерживания указанного максимального рабочего давления со значительным запасом прочности, а также соответствуют ASME B31.3 и Европейской директиве по оборудованию, работающему под давлением PED 2014/68/EU.