

Техническое описание

# Решения для точного измерения уровня в резервуарах с двойной оболочкой закрытого типа при работе с СПГ и фракционированным газом



**EMERSON**

## Краткий обзор

Хранение сжиженного природного газа (СПГ) и более тяжелых газообразных углеводородов, таких как этан, представляет для технологии измерения запасов определенные проблемы. В этом техническом описании рассматривается необходимость точного измерения уровня для поддержки функций управления запасами и обеспечения безопасной эксплуатации резервуар с двойной оболочкой закрытого типа для хранения СПГ. Также в нем приведены характеристики резервуаров, в которых хранятся сжиженные газы, и рассмотрены проблемы точности измерения уровня. Перед описанием преимуществ новейшей бесконтактной радарной технологии и наиболее подходящих решений для измерения уровня жидкости в криогенных резервуарах объяснены недостатки традиционных методов измерения.

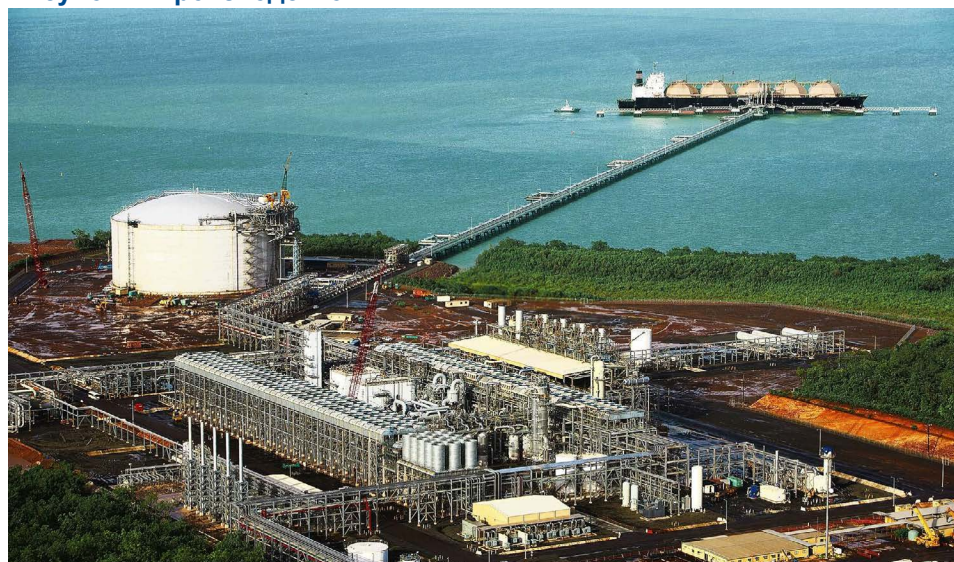
## Природный газ — самый быстрорастущий источник энергии

Природный газ — это чистое горящее ископаемое топливо, которое используется для выработки электроэнергии, отопления, а также в различных видах транспорта.

Как правило, в дома или сети газоснабжения промышленных предприятий газ транспортируется по трубопроводам. Благодаря новым месторождениям, расположенным по всему миру, природный газ стал конкурентоспособной частью мировой энергетической системы. При фракционировании природного газа также получают более тяжелые газоконденсатные жидкости, такие как этан, пропан, бутан и пентаны. В качестве нефтехимического сырья этан быстро превратился в ценную альтернативу сырой нефти.

Сжижение природного газа в СПГ позволяет хранить, транспортировать и продавать его по всему миру. Метан, который является природным газом в чистом виде, в сжиженном состоянии занимает в 600 раз меньший объем, чем в газообразном. Это означает, что его можно безопасно транспортировать в больших количествах. Многие из упомянутых газоконденсатных жидкостей, равно как и метан, для удобства хранения и транспортировки хранятся в жидком виде.

Рисунок 1. Производство СПГ



Сжижение природного газа в СПГ позволяет хранить, транспортировать и продавать его по всему миру.



## Резервуары для хранения

После обработки и фракционирования сжиженные газы хранятся в криогенных или охлаждаемых резервуарах с двойной оболочкой закрытого типа. Оттуда они могут перевозиться специально предназначенными для этого судами по морю или автомобильными цистернами, или грузовыми вагонами по суше в районы, которые не обслуживаются трубопроводами. После транспортировки сжиженный газ регазифицируется на терминале или в сети, в которую он поставляется. Резервуары с полной защитной оболочкой, как правило, имеют вместимость от 30000 до 200000 кубических метров. Они состоят из внутренней стальной емкости и наружной бетонной (или стальной) емкости для контроля вторичной герметизации, а также теплоизоляции между ними, чтобы минимизировать выкипание жидкости при хранении.

Рисунок 2. Транспортировка СПГ



СПГ может транспортироваться грузовыми автомобилями и использоваться в промышленных процессах в качестве экологически чистого альтернативного вида энергии.

## Почему измерения важны?

Для различных газов необходимы разные измерения. В то время как СПГ ценится за его энергосодержание (которое может различаться в зависимости от поставщика и продолжительности хранения), более тяжелые, постоянные газы, такие как этан или пропан, аналогичны другим углеводородам, запасы которых измеряются полезным объемом или массой.

Технология измерения уровня и температуры является ключевой частью систем учета резервуарных запасов. Получение достоверных и точных измерений уровня жидкости внутри каждого сосуда имеет важное значение для управления запасами и передачи продукта потребителю. Уровень и температура измеряются также по соображениям безопасности, поскольку перелив резервуара представляет угрозу для безопасности. Контроль уровня и пространства изоляции также важен для того, чтобы можно было удостовериться в отсутствии утечек из резервуаров, особенно при хранении опасных материалов. Предотвращение переливов и обнаружение утечек также важно для соблюдения экологических норм.

В резервуарах с двойной оболочкой закрытого типа используются как минимум два (но не более пяти) датчика для первичного, вторичного измерения уровня и обнаружения перелива. Как правило, система безопасности использует все эти датчики. Для обнаружения стратификации СПГ также необходим мониторинг температуры резервуара и плотности. Стратификация — это когда в резервуаре образуются два отдельных слоя СПГ. Это может привести к опасному парообразованию СПГ вследствие смешения слоев, называемому «переворачиванием»

Для контроля процесса охлаждения и повышения безопасности обнаружения утечек выполняются дополнительные измерения температуры. Обе функции обеспечиваются с помощью нескольких чувствительных элементов датчика температуры. Они распределены вдоль внутренней стенки резервуара, на дне резервуара (для контроля охлаждения) и внутри изоляционного пространства между внутренней и наружной стенками резервуара (для обнаружения утечек).

## Сложности, возникающие при измерении

Определение уровня и температуры сжиженного газа в резервуарах с двойной оболочкой закрытого типа представляет различные проблемы для измерительной техники. Эти резервуары представляют собой большие конструкции, что означает, что требуемый диапазон измерений может составлять 40 метров или более. Это создает сложности в достижении необходимой точности измерений. Кроме того, эти резервуары не открываются во время работы и, как правило, недоступны для технического обслуживания в течение всего срока эксплуатации. Это означает, что надежность имеет решающее значение, а резервирование является жизненно важным для измерения уровня требованием. Еще одна проблема связана с внутренней структурой этих резервуаров.

Стандартный резервуар для хранения имеет только одно паровоздушное пространство, но у резервуаров с двойной оболочкой закрытого типа есть два различных паровоздушных пространства - одно за пределами зафиксированного подвесного перекрытия и одно внутри. Эти два больших паровых пространства имеют разные температуры. Это необходимо учитывать при расчете эквивалентной массы в паровых пространствах для определения запасов.



Рисунок 3. Внутри резервуара с двойной оболочкой закрытого типа



## Традиционные методы измерения уровня жидкости

Системы учета резервуарных запасов должны обеспечивать достоверные и точные данные об уровне жидкости в течение всего срока службы криогенного резервуара. Измерение уровня традиционно проводилось с использованием поплавка и ленты или с помощью серво-технологии. В первом случае большой поплавок внутри резервуара посредством блочной системы соединен с заводной пружиной и числовым индикатором, расположенным снаружи в нижнем конце резервуара. Для дистанционного контроля поплавковый указатель уровня может быть оснащен преобразователем, который передает значения уровня жидкости в диспетчерскую. При использовании серво-метода поплавков заменяется маленьким неплавучим буйком. Бук должен быть подвешен на тонкой проволоке, которая подсоединена к серво-уровнемеру, расположенному сверху резервуара. Взвешивающая система серво-уровнемера измеряет натяжение проволоки, а сигналы от взвешивающего механизма управляют электродвигателем в сервоблоке и заставляют дисплейсер перемещаться при изменении уровня жидкости. Электронный измерительный преобразователь отправляет информацию об уровне жидкости в диспетчерскую по шине Fieldbus.

Хотя эти методы все еще широко используются, они имеют серьезные недостатки. У поплавкового уровнемера очень низкая точность. Имеется множество источников погрешностей, таких как различия плавучести, зона нечувствительности, люфт и гистерезис в механизмах. Если что-то пойдет не так с поплавком, лентой или направляющей проволокой, необходимо проводить сервисные работы внутри резервуара. Поплавковый уровнемер является относительно простым устройством, но имеет много подвижных частей, которые потребуют технического обслуживания и ремонта в течение срока эксплуатации. Серво-уровнемеры, как правило, работают лучше, чем поплавковые уровнемеры, но они также имеют много подвижных частей, а буюк и проволока находятся в контакте с жидкостью внутри резервуара. Следовательно, серво-уровнемерам необходима калибровка, плановое техническое обслуживание и ремонт.

## Бесконтактный радарный уровнемер

Владельцы должны выбирать интеллектуальные решения, которые помогают максимизировать производительность резервуара при минимальных затратах на эксплуатацию и техническое обслуживание, и обеспечить быструю окупаемость инвестиций. Современный подход включает в себя использование бесконтактного радара для обеспечения точного измерения уровня. Это самая быстрорастущая в мире технология измерения уровня жидкости в криогенном резервуаре.

Бесконтактный радарный уровнемер использует микроволны для измерения уровня жидкости. Эти устройства не имеют подвижных частей и не соприкасаются с жидкостью, благодаря чему у них минимальные требования к техническому обслуживанию. Большинство радарных уровнемеров не могут справиться с трудностями, связанными с паровыми пространствами, диэлектрической постоянной и большим диапазоном измерений, свойственные криогенным резервуарам. Тем не менее, лучшие уровнемеры могут обеспечить высокоточные измерения на расстоянии более 55 метров, и, кроме того, измерения могут быть подтверждены, когда резервуар находится в эксплуатации. Для обеспечения оптимальной мощности сигнала эти уровнемеры используют технологию непрерывного излучения с частотной модуляцией. 4-дюймовая успокоительная труба направляет сигнал радара, что приводит к получению сильного, свободного от помех эхо-сигнала от поверхности жидкости. Радар контролируется кварцевым генератором для достижения точности измерения 0,5 миллиметра. По сравнению с традиционными методами, использование точного радарного уровнемера может снизить неопределенность по определению объема на 180%.

Эти устройства подходят для использования в криогенных областях применения, поскольку их электроника размещена в головке датчика вне резервуара, а для измерения уровня СПГ/ГК имеется специальная антенна, которая может функционировать в таких экстремальных условиях. Эти уровнемеры могут похвастаться впечатляющей надежностью и точностью, а среднее время наработки на отказ (MTBF) для наиболее важных деталей измеряется десятилетиями.

### Рисунок 4. Резервирование для критических измерений



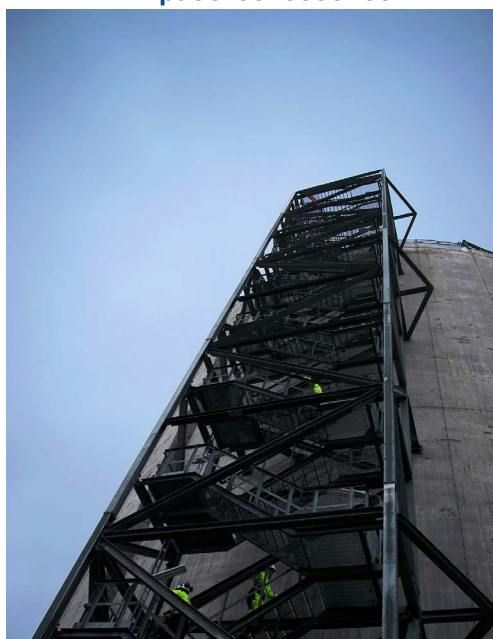
Для резервуара, который может не открываться годами, надежность имеет решающее значение. Радарные технологии часто являются более предпочтительными. Кроме того, тройное резервирование всех измерительных приборов необходимо для получения максимальной готовности к их эксплуатации.



Для обеспечения безопасности необходимо периодически проверять исправность устройств, используемых в системе противоаварийной защиты (СПАЗ). Эти проверки, как правило, выполнялись техническими специалистами в полевых условиях и проверялись работником в диспетчерской. Этот способ может включать в себя подъем на резервуары для доступа к инструментам, что ставит под угрозу безопасность специалистов. Этот процесс также занимает много времени и может привести к простоя резервуара в течение длительного периода, что влияет на рентабельность. Однако новейшие радарные уровнемеры позволяют проводить проверки работоспособности удаленно из диспетчерской, что делает процедуру более безопасной, быстрой и эффективной.

Благодаря таким преимуществам новейшие радарные уровнемеры являются подходящим вариантом для замены традиционных методов измерения уровня в криогенных применениях.

**Рисунок 5. Повышенная безопасность благодаря удаленной проверке работоспособности**



Выполнение проверки работоспособности из диспетчерской намного быстрее и безопаснее, чем подъем на высокие резервуары.

## Идентичное и неоднородное разделение

Безопасность имеет первостепенное значение для объектов, где хранятся большие объемы углеводородов, поэтому функции по обеспечению безопасности, обеспечиваемые технологией измерения уровня жидкости в резервуаре, имеют решающее значение. Для областей применений, в которых используются двухоболочечные резервуары закрытого типа, обычной практикой является установка трех уровнемеров — первичный и вторичный уровнемеры поддерживают основную систему управления процессами (PCY), а третий предоставляет информацию системе предотвращения переливов (СПП) — с остановкой процесса системой СПАЗ при фиксации «alarm» сигналов одновременно от двух из трех датчиков.

Существует ошибочное мнение, что стандарты требуют, чтобы технология, используемая для СПП, отличалась от технологии, используемой для РСУ. Обычно это называется неоднородным разделением или неоднородным резервированием. На самом деле можно использовать одну и ту же технологию для обеих систем. Она называется идентичным разделением, и бесконтактные радарные уровнемеры все чаще становятся предпочтительной технологией.

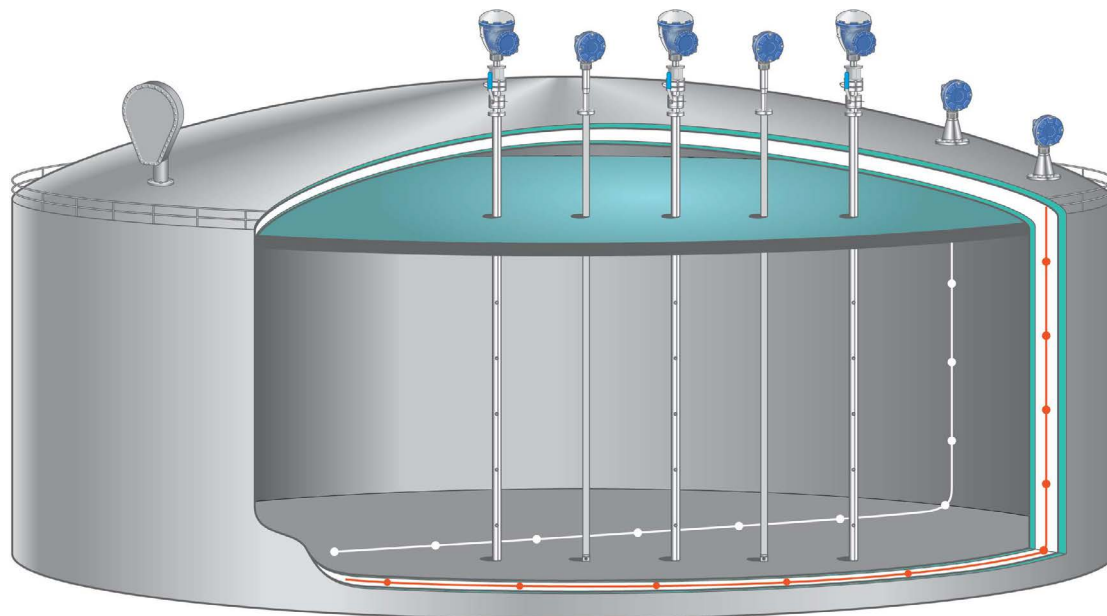
МЭК 61511-2, в котором изложены лучшие методы обеспечения безопасности при внедрении современной СПАЗ, гласит: «Для разделения между СПАЗ и РСУ может использоваться идентичное или неоднородное разделение». Идентичное разделение означает использование одной и той же технологии для СПАЗ и РСУ, а неоднородное разделение означает использование разных технологий от одного и того же или другого производителя. По сравнению с идентичным разделением, которое помогает против случайных сбоев, неоднородное разделение дает дополнительное преимущество, заключающееся в уменьшении вероятности систематических отказов, воздействующих на несколько каналов одновременно и/или по одной и той же причине, и, следовательно, уменьшает отказ, коррелированный для нескольких каналов. Идентичное разделение между СПАЗ и РСУ может иметь некоторые преимущества при проектировании и техническом обслуживании, поскольку снижает вероятность ошибок, допущенных в процессе обслуживания. Это особенно верно для случая, когда должны выбираться разные устройства, которые ранее не использовались в организации пользователя.

Другими словами, идентичное и неоднородное разделение являются допустимыми вариантами, но они обеспечивают различные преимущества. Растет понимание того, что сокращение объема технического обслуживания и подобных «ошибок вследствие неправильного обращения» имеет решающее значение. По некоторым оценкам 75 процентов несчастных случаев в промышленности связаны с организационными и человеческими факторами. Наглядным примером является инцидент в Бансфилде. На терминале «Бансфилд» для предотвращения перелива, использовались неоднородные технологии разделения с резервированием, но сигнализатор аварийно высокого уровня не работал из-за человеческой ошибки. Для проведения испытания его отключили от системы, после чего он не был повторно установлен должным образом — он просто перестал работать. Можно утверждать, что неоднородное разделение вносит дополнительную сложность и увеличивает вероятность человеческой ошибки, поскольку персоналу необходимо научиться устанавливать, настраивать и проверять две разные технологии, а не одну.



## Радарные решения для измерения уровня жидкости в резервуаре

Рисунок 6. Типовая радарная система учета резервуарных запасов СПГ



В криогенных областях применения типовое решение для измерения уровня жидкости в резервуаре с конфигурацией, ориентированной на высокую надежность в сочетании с высокими измерительными характеристиками, состоит из следующих основных компонентов:

- Один первичный высокоточный радарный уровнемер для измерения уровня
- Один вторичный высокоточный радарный уровнемер для измерения уровня
- Два многозонных датчика температуры (могут включать до 16 точек измерения температуры, чтобы покрыть всю высоту резервуара) для измерения средней температуры жидкости и резервного онлайн-мониторинга температурного расслоения
- Третий радарный уровнемер для сигнализатора аварийно высокого уровня
- Преобразователи с отдельными термочувствительными элементами для измерения температуры внешней поверхности/охлаждения и обнаружения утечек
- Отдельное устройство для построения профиля температуры и плотности (LTD)
- Опциональные полевые графические индикаторы
- Устройства связи для сбора данных с полевых приборов, передачи данных в зону диспетчерской, а также для подачи аварийных сигналов высокого уровня, перелива и управления насосом
- Модуль связи в зоне диспетчерской для передачи данных в системы PCY, системы «человек-машина» и связи с общими ИТ-системами
- Программное обеспечение управления запасами для интерфейса оператора и создания отчетов

## Надежное системное решение

Идентичное разделение, считающееся допустимым вариантом, использует радарные датчики, чтобы обеспечить как измерение уровня, так и сигнализацию достижения верхнего предела заполнения резервуара. Все компоненты для измерения уровня жидкости в резервуаре, включая охлаждение и обнаружение утечек, используют одну и ту же коммуникационную инфраструктуру.

Рисунок 7. Радарный уровнемер с антенной для СПГ





Для обеспечения вспомогательных измерений температуры можно использовать усовершенствованные измерительные преобразователи температуры с многозонными датчиками температуры, специально разработанные для криогенных областей применения. Эти датчики могут быть улучшены с помощью откалиброванных точечных элементов. Преобразователи также могут быть объединены с высоконадежными датчиками температуры для измерения температуры стенки резервуара и обеспечения контроля охлаждения и обнаружения утечек.

**Рисунок 8. Многоканальный измерительный преобразователь температуры с датчиками**



Многоканальный измерительный преобразователь температуры с 4-проводным калиброванным многозонным датчиком температуры



Многоканальный измерительный преобразователь температуры с датчиком температуры для охлаждения и обнаружения утечек

Устройство для построения профиля уровня, температуры и плотности (LTD), которое отбирает сотни точек данных, предоставит подробный и точный профиль температуры и плотности. Такой профиль позволяет обнаруживать расслоение в резервуаре СПГ и помогает предотвратить случаи «переворачивания» слоев. Путем мониторинга всех соответствующих данных можно контролировать потенциальное развитие расслоения и принять меры, чтобы избежать самопроизвольного перемешивания.

**Рисунок 9. Устройство для построения профиля уровня, температуры и плотности (LTD)**



Для сбора этих данных и питания полевых устройств системы учета резервуарных запасов подключены к модулю связи резервуара. Также модуль связи отправляет измеренные данные в диспетчерскую через сетевой концентратор данных.

**Рисунок 10. Модуль связи резервуара**

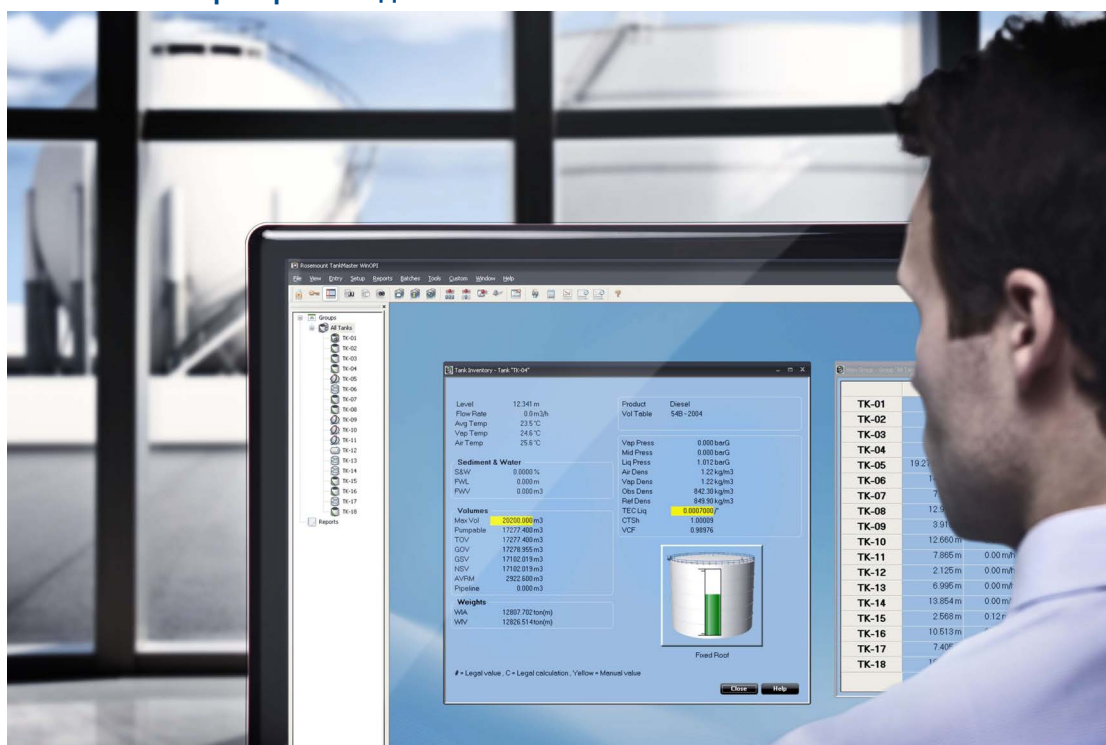


**Концентратор данных**



Программное обеспечение для управления запасами упрощает настройку полевых устройств и позволяет проводить расчеты запасов, обработку закачкой, обработку отчетов, обработку аварийных сигналов, выборку из истории и удаленную проверку работоспособности. Расширенная версия программного обеспечения для управления запасами включает поддержку резервуаров с двойной оболочкой закрытого типа и позволяет рассчитывать массу и эквивалентную массу пара в двух паровоздушных пространствах.

**Рисунок 11. Программное обеспечение управления запасами для интерфейса оператора и создания отчетов**



## Заключение

Поскольку криогенные жидкости хранятся в огромных резервуарах с двойной оболочкой закрытого типа, которые могут не открываться годами, системы учета резервуарных запасов должны обеспечивать достоверное и точное измерение уровня жидкости в течение всего срока службы резервуара. Решения, основанные на новейшей бесконтактной радарной технологии, в сравнении с традиционными методами, предлагают ряд преимуществ, включая высокоточные измерения на больших диапазонах измерений, возможность удаленной проверки работоспособности и способность проводить измерения в трудных условиях, связанных с низкой диэлектрической постоянной и наличием в резервуаре паровоздушного пространства. Поэтому неудивительно, что бесконтактная радарная технология стала самой быстрорастущей технологией измерения уровня жидкости в криогенных резервуарах.

## Emerson Automation Solutions

Россия, 115054, г. Москва  
ул. Дубининская, 53, стр. 5

+7 (495) 995-95-59

+7 (495) 424-88-50

Info.RU@Emerson.com

[www.emerson.ru/automation](http://www.emerson.ru/automation)

Азербайджан, AZ-1025, г. Баку  
Проспект Ходжалы, 37

Demirchi Tower

+994 (12) 498-2548

+994 (12) 498-2449

e-mail: Info.Az@Emerson.com

Казахстан, 050060, г. Алматы

ул. Ходжанова 79, этаж 4

БЦ Аврора

+7 (767) 356-12-00

+7 (727) 356-12-05

Info.Kz@Emerson.com

Украина, 04073, г. Киев

Куреневский переулок, 12,

строение А, офис А-302

+38 (044) 4-929-929

+38 (044) 4-929-228

Info.Ua@Emerson.com

## Промышленная группа «Метран»

Россия, 454003, г. Челябинск

Новоградский проспект, 15

+7 (351/) 799-51-52

+7 (351) 799-55-90

Metran@Emerson.com

[www.metran.ru](http://www.metran.ru)

Технические консультации по выбору и применению  
продукции осуществляет Центр поддержки  
Заказчиков

+7 (351) 799-51-51

+7 (351) 799-55-88



Emerson Ru&CIS



Twitter.com/EmersonRuCIS



Facebook.com/EmersonCIS



Youtube.com/user/EmersonRussia

Положения и условия продаж компании Emerson доступны по запросу. Логотип Emerson является фирменной маркой и торговым знаком компании Emerson Electric Company. Rosemount является фирменной маркой компании, входящей в семейство компаний Emerson. Все прочие торговые марки являются собственностью соответствующих владельцев.  
© 2019 Emerson. Все права защищены.

ROSEMOUNT™

