

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ С ПОМОЩЬЮ РАДАРНЫХ УРОВНЕМЕРОВ

В.В. Либерман (ЗАО "ЛИМАКО")

Кратко представлены современные методы измерения уровня различных продуктов в резервуарах. Проводится сравнение возможностей различных модификаций радарных уровнемеров для решения наиболее распространенных задач измерения уровня. Материалы статьи позволят потребителям уровнемеров квалифицированно подойти к выбору необходимой модели.

Ключевые слова: уровень, радар, уровнемер, частота, антенна, резервуар, монтаж, точность, конфигурирование, интерфейс.

Введение

Развитие современных высоких технологий предоставило для измерения уровня великолепный инструмент – небольшой герметичный прибор, не содержащий механически перемещаемых элементов и установленный с внешней стороны резервуара, генерирующий невидимый глазу радиолуч с мощностью излучения на несколько порядков меньше, чем обычный сотовый телефон. Этот луч беспрепятственно пронзает пространство резервуара до поверхности продукта, будь то жидкость или сыпучее вещество, и через время, обусловленное исключительно расстоянием от радарного уровнемера до продукта и скоростью распространения радиоволн, возвращается в точку излучения. Далее быстродействующий сигнальный процессор радарного уровнемера преобразует это время в расстояние от уровнемера до продукта и с учетом высоты резервуара в уровень.

Преимущества радарного метода измерения уровня над контактными (поплавковый, буйковый, магнитострикционный и т.д.) очевидны и многократно описаны.

Преимущество радарного метода над ультразвуковым методом также легко просматривается. В процессе вычисления уровня в радарном уровнемере участвует скорость распространения радиоволн в атмосфере резервуара. Аналогичную роль в ультразвуковом уровнемере играет скорость распространения ультразвука, которая существенно зависит (в отличие от скорости распространения радиоволн) от давления, температуры, состава атмосферы, наличия паров и пыли и многих других параметров атмосферы резервуара. Типовые для технологических процессов (ТП) изменения этих характеристик приводят к изменению скорости распространения ультразвука в значительных пределах. Сравнивая эти два метода, можно заключить, что радарные уровнемеры принципиально более точные приборы, чем ультразвуковые.

Казалось бы, при таких очевидных преимуществах устанавливай радарный уровнемер на резервуаре и, как говорится, радуйся жизни. Однако проблема заключается в том, что в настоящее время на рынке представлено несколько десятков моделей радарных уровнемеров, каждая из которых имеет свои особенности и соответственно цену. Принцип действия уровнемеров широко описан в различных источниках, например в [1].

В данной статье сделана попытка помочь оптимально выбрать радарный уровнемер для решения конкретной задачи.

Частота излучения – важный параметр радарного уровнемера

Частота излучения – важнейший параметр радарного уровнемера, определяющий его потенциальные возможности. По влиянию на характеристики радарного уровнемера его частоты излучения можно привести аналогию с влиянием объема двигателя внутреннего сгорания автомобиля на его характеристики – чем больше объем, тем потенциально выше его мощность, развиваемый момент и соответственно выше динамические и скоростные характеристики автомобиля.

Аналогичная ситуация с частотой излучения радарного уровнемера.

В настоящее время на рынке присутствуют радарные уровнемеры, работающие в диапазоне частот 6...95 ГГц. Эти уровнемеры имеют разные антенны, обладают конструктивными особенностями, используют разные методы обработки сигналов, но для всех справедливо функциональное правило: размеры антенны, ширина измерительного луча и частота излучения жестко связаны. Исходя из формул, приведенных в [2], справедливо выражение:

$$\varphi = \frac{2,1 \cdot 10^4}{D \cdot f}, \quad (1)$$

где φ – ширина луча, (°); D – диаметр (раскрыв) антенны, (см); f – частота излучения (ГГц).

То есть, чем выше частота излучения, тем меньшие размеры антенны требуются для формирования радиолуча одинаковой ширины.

Пример. Для формирования луча шириной 4° в уровнемере, работающем на частоте 95 ГГц, используется антенна диаметром примерно 80 мм, а для формирования такого же луча в уровнемере, работающем на частоте 10 ГГц, потребовалась бы антенна диаметром 700 мм. Разница очевидна. Узкий луч в сочетании с малыми размерами антенны позволяет как повысить точность измерения, так и упростить монтаж и эксплуатацию уровнемера.

Однако специалисты одной известной и уважаемой зарубежной фирмы, выпускающей радарные уровнемеры с частотой 10 ГГц, 10 лет назад в научной и популярной прессе обосновали, что эта частота яв-

ляется оптимальной для построения радарного уровнемера, а дальнейшее ее повышение нецелесообразно из-за появления дополнительных погрешностей, связанных с ухудшением распространения более высокочастотных радиоволн. Но это утверждение не помешало этой же зарубежной фирме параллельно с критикой разработать и выпустить на рынок радарные уровнемеры с частотой 26 ГГц.

Компания ЛИМАКО (Россия) имеет в своей номенклатуре уровнемеры, работающие на частотах 10...94 ГГц. За 15 лет выпуска уровнемеров не было ни одного случая, где бы более высокочастотный уровнемер не имел бы преимущества над более низкочастотным. Но, как в вышеописанном случае с автомобильным двигателем, за удовольствие приходится платить. Более высокочастотные уровнемеры одного и того же производителя всегда дороже более низкочастотных. Объясняется это тем, что с ростом частоты резко возрастает стоимость СВЧ элементной базы, стоимость изготовления и проектирования СВЧ-узлов.

Следует отметить, что приведенные выше рассуждения о преимуществах высоких частот не относятся к радарным уровнемерам, работающим на отводящих (измерительных) трубах, например, на резервуарах с понтоном или плавающей крышей. Об особенностях таких уровнемеров будет сказано ниже.

Точность, чувствительность, быстродействие

Радарный уровнемер — это средство измерения, а, как известно, любое измерение — это, в конечном итоге, процесс сравнения измеряемой величины с эталоном. Расстояние от уровнемера до поверхности продукта (если из высоты установки уровнемера вычесть это расстояние, получается уровень продукта) определяется из времени задержки распространения сигнала до продукта и обратно путем деления времени распространения на скорость распространения. Для нашего случая скорость распространения радиоволны является практически постоянной. Таким образом, процесс измерения расстояния (уровня) сводится практически к измерению времени задержки. Внутренним эталоном времени в радарных уровнемерах является высокоточный кварцевый генератор, временные интервалы вырабатываемые которым с помощью многоступенчатых схем сравниваются с измеряемым временем. В свою очередь, частота кварцевого резонатора, используемого в генераторе, определяется его размером и контролируется на заводе изготовителе путем сравнения с эталоном более высокого уровня.

Казалось бы, единство измерений обеспечено. Но есть один нюанс, заключающийся в определении эквивалентной точки радарного уровнемера, откуда необходимо производить отсчет расстояния. Физически эта точка находится в месте компарирования (сравне-



Рис. 1. Образцовая установка ЛМ-30

ния) излученного и принятого уровнемером сигнала (смеситель) внутри уровнемера. Проблема заключается в том, что время распространения радиосигнала от среза антенны до этой точки зависит от технологических допусков при изготовлении антенны и СВЧ-тракта и поэтому практически не поддается расчету.

Это приводит к необходимости первичной поверки радарных уровнемеров при выпуске из производства. Для этих целей используются образцовые установки, содержащие изготовленный с высокой точностью отражатель радиоволн, способный с требуемой точностью перемещаться относительно поверяемого радарного уровнемера. Пример такой установки ЛМ-30, используемой при производстве уровнемеров УЛМ-11, приведен на рис. 1.

В процессе эксплуатации радарных уровнемеров, как правило, применяется периодическая поверка, не требующая образцовой установки. Такая поверка производится по специальной методике, согласованной в установленном порядке с метрологической службой и в большинстве случаев без демонтажа уровнемеров.

Метрологические и эксплуатационные характеристики уровнемеров приводятся в соответствующей эксплуатационной документации. Важнейшими параметрами, на взаимосвязь которых эксплуатационники не обращают внимания, являются точность, требование к отражающей поверхности и быстродействие. Дело в том, что указанная в документации точность может быть обеспечена лишь при достаточной интенсивности отраженного сигнала, которая зависит от отражательной способности продукта и от состояния поверхности.

Если отражательная способность слабая, например, вследствие наличия пены или на поверхности продукта имеется волнение, то возможна ситуация, когда не только не будут выполняться требования по точности, но и вообще будут наблюдаться срывы процесса измерения. Следует также учитывать, что при уменьшении интенсивности отраженного сигнала ухудшаются и динамические характеристики уровнемера, то есть его способность быстро реагировать на изменение уровня

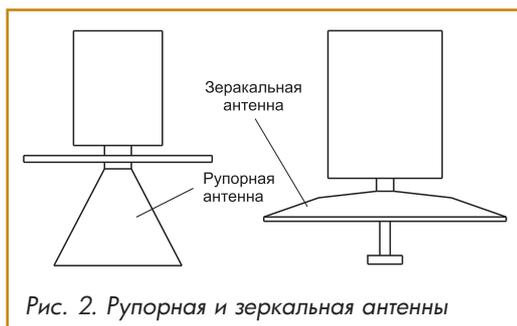


Рис. 2. Рупорная и зеркальная антенны

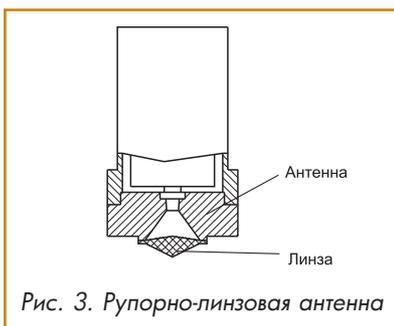


Рис. 3. Рупорно-линзовая антенна

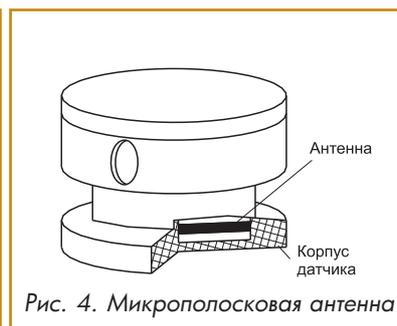


Рис. 4. Микрополосковая антенна

продукта. Идеальной страховкой от совершения ошибки при выборе модели радарного уровнемера является выяснение, как данная модель радарного уровнемера работает на аналогичном объекте.

Вместе с тем необходимо отметить, что модели уровнемеров, работающих на повышенных частотах (≥ 24 ГГц), менее требовательны к идеальности отражающей поверхности продукта [3]. Это связано с тем, что излучаемая энергия в таких уровнемерах сосредоточена в более узком луче и поэтому используется эффективнее, а в ряде случаев (особенно на сыпучих продуктах) коэффициент отражения радиоволны на повышенных частотах выше, чем на низких.

Антенна – важнейшая часть радарного уровнемера

Задачей антенны радарного уровнемера является излучение в направлении поверхности продукта, уровень которого необходимо измерить, радиосигнала и прием отраженного от поверхности продукта радиосигнала.

К антенне радарного уровнемера предъявляются следующие основные требования. Во-первых, она должна обеспечивать наилучшую фокусировку радиоизлучения, во-вторых, не должна усложнять монтаж уровнемера на резервуаре и, в-третьих, конструкция антенны должна минимизировать возможность образования на ее поверхности конденсата, загрязнений, наростов, которые ведут к ухудшению параметров уровнемера. Из всего разнообразия известных из радиотехники антенн в радарных уровнемерах нашли применение пять типов. Это стержневые, зеркальные, рупорные, рупорно-линзовые и микрополосковые.

На степень фокусировки радиолуча (его ширину) основное влияние оказывает диаметр антенны (раскрыв) и частота излучения. Чем больше значение этих параметров, тем уже луч.

Вместе с тем на этот параметр в некоторой степени влияет и конструкция антенны. Так наилучшей эффективностью, с точки зрения фокусировки радиолуча, обладают рупорные антенны. Однако для достижения этой эффективности соотношение длины антенны и ее диаметра не должны быть меньше определенной величины. Поэтому реализация узкого луча на низких частотах (≤ 10 ГГц) с помощью таких антенн приводит к очень громоздкой конструкции, осложняющей монтаж и эксплуатацию уровнемера. В связи с этим в радарных уровнемерах, использующих низкие частоты, для высокоточных измерений используют

зеркальные антенны, которые имеют меньшую длину, однако их диаметр (до 500 мм) также не доставляет особой радости монтажникам и эксплуатационникам.

Значительно меньшую протяженность, чем рупорные, имеют рупорно-линзовые антенны. Это антенны, у которых в раскрые рупора установлена диэлектрическая линза. Однако даже такой тип антенны при использовании сравнительно низких частот излучения не позволяет из-за размеров антенны избежать ситуации, когда большая часть антенны находится внутри резервуара. Значительный качественный эффект дает использование высоких частот (≥ 24 ГГц). Так в уровнемерах УЛМ-11 (рис. 3) использование высоких частот обеспечило возможность разместить рупорно-линзовую антенну внутри корпуса уровнемера. Это позволило, во-первых, существенно упростить монтаж уровнемера, а во-вторых, минимизировать возможность выпадения на поверхности антенны конденсата. Объясняется это тем, что уровнемер (а соответственно и антенна) за счет нагрева аппаратуры уровнемера в процессе работы имеет всегда температуру выше, чем среда, которая "омывает" антенну. Эта особенность уровнемера УЛМ-11 позволяет в отличие от многих других типов уровнемеров успешно использовать его в сложных условиях, например, на мазутных резервуарах с подогревом продукта.

Значительную эффективность обещает и использование в радарных уровнемерах такого сравнительно нового направления, как микрополосковые антенны. Конструктивно такая антенна напоминает печатную плату. Если корпус антенны или его лицевая часть выполнен из диэлектрика, то антенна может быть расположена внутри корпуса. Датчик уровня УЛМ4-5, выполненный по такой технологии, показан на рис. 4. Его корпус выполнен из агрессивнo-стойкой пластмассы, и поэтому датчик уровня УЛМ4-5 без каких-либо дополнительных мер защиты успешно используется на резервуарах с кислотами, щелочами и другими агрессивными продуктами. К сожалению, микрополосковая технология пока не позволяет изготавливать коммерчески эффективные антенны на частотах выше 24 ГГц, однако, там, где не требуется очень высокая точность и допускается относительно большая ширина луча, этот тип антенны очень перспективен.

Определенное распространение получили и уровнемеры со стержневой диэлектрической антенной. Главным их достоинством является дешевизна и небольшой диаметр, но из-за широкого луча и склонно-

сти к загрязнению их применение ограничено простыми задачами.

Способы монтажа, юстировки и конфигурирования уровнемеров

Радарный уровнемер монтируется на крыше резервуара. Для этого используются различные типы соединений, но самое распространенное – фланцевое.

При монтаже уровнемера необходимо обеспечить его строгую вертикальность. Это требование вытекает из того, что физически уровнемер измеряет расстояние (и в конечном итоге уровень) по оси, совпадающей с геометрической осью антенны. Отклонение этой оси от вертикали приводит к дополнительной погрешности, а при существенных отклонениях от вертикали может быть даже нарушен процесс измерения из-за недопустимого уменьшения уровня отраженного сигнала. Обычно допустимая величина отклонения оси уровнемера от вертикали указывается в документации. Обеспечение этого параметра осуществляется или путем установки гибкой прокладки между уровнемером и фланцем резервуара, или применением специального горизонтирующего устройства, устанавливаемого между уровнемером и резервуаром.

Контроль за положением уровнемера при горизонтировании в обоих случаях осуществляется с помощью, например, строительного уровня. Однако, как показывает опыт, в процессе эксплуатации горизонтировка уровнемера часто нарушается вследствие деформационных процессов корпуса резервуара. Поэтому горизонтировку уровнемера приходится периодически проверять, что не очень удобно. От этого недостатка свободны уровнемеры, содержащие автоматические датчики угла наклона (инклинометры), например, уровнемеры типа УЛМ. Наличие датчика угла наклона позволяет автоматически вводить поправки в результат измерения на основе фактических данных об угле наклона, а если угол наклона уровнемера по какой-либо причине превысил допустимую величину, выдать оператору информацию о необходимости "поправить" уровнемер. Пример установки уровнемера УЛМ-11 на резервуаре приведен на рис. 6.

На рис. 7 показан пример монтажа уровнемера при необходимости изолировать его от

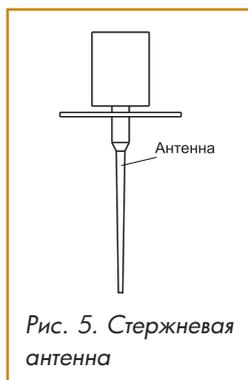


Рис. 5. Стержневая антенна

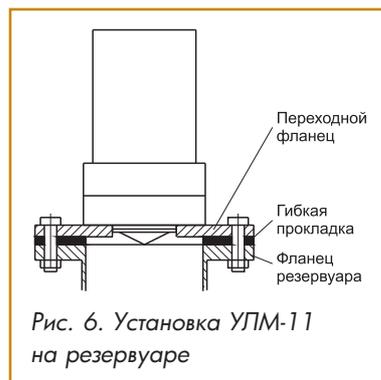


Рис. 6. Установка УЛМ-11 на резервуаре

атмосферы резервуара с помощью изолирующей (например, фторопластовой) прокладки.

На рис. 8 показан пример монтажа датчика уровня УЛМ-4-5, выполненного в диэлектрическом корпусе и содержащего антенну внутри.

Определенные особенности представляет монтаж уровнемеров на резервуарах с избыточным давлением. Здесь производители уровнемеров обычно используют два варианта решения задачи. В первом случае конструктивно обеспечивается механическая прочность фланцевого соединения и самого уровнемера к избы-

точному давлению заданной величины. Неудобством при этом является то, что при необходимости демонтажа уровнемера резервуар разгерметизируется. От этого недостатка свободны уровнемеры, для монтажа которых используются специальным образом выполненные, стойкие к давлению диэлектрические прокладки. Сам же уровнемер в этом случае устанавливается с внешней стороны прокладки и давлению не подвергается. Монтаж и демонтаж уровнемера в этом случае может быть осуществлен без разгерметизации резервуара. Пример этого метода монтажа приведен на рис. 9.

После монтажа и подключения уровнемера необходимо провести его конфигурирование. Эта операция заключается во вводе в процессор уровнемера информации о параметрах резервуара: высоты установки уровнемера и, если необходимо измерять кроме уровня еще и объем продукта, градуировочной таблицы резервуара.

Конфигурирование в большинстве случаев осуществляется с помощью штатного интерфейса уровнемера. Однако в ря-

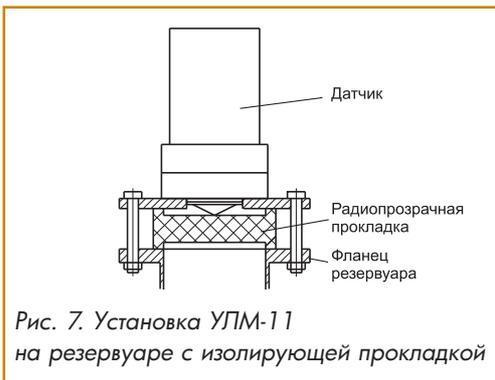


Рис. 7. Установка УЛМ-11 на резервуаре с изолирующей прокладкой

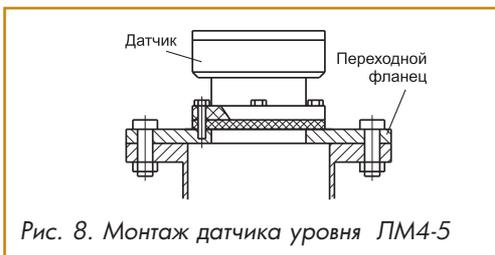


Рис. 8. Монтаж датчика уровня ЛМ4-5

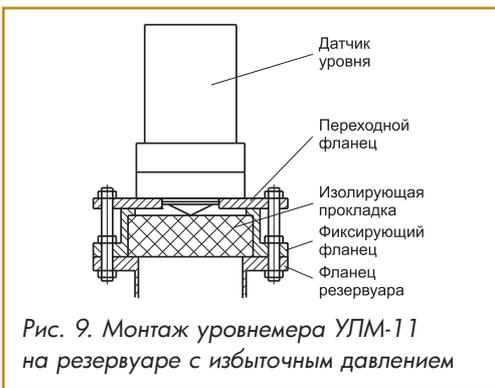


Рис. 9. Монтаж уровнемера УЛМ-11 на резервуаре с избыточным давлением

де случаев определенные удобства дает использование выносных пультов-конфигураторов. Такую опцию имеют большинство современных радарных уровнемеров.

Использование радарных уровнемеров для измерения уровня в измерительных трубах

Названная задача обычно возникает при необходимости измерить уровень в резервуарах с понтоном или плавающей крышей. В таких резервуарах поверхность продукта недоступна лучу уровнемера. Поэтому уровень в таких резервуарах измеряется путем измерения уровня в измерительных трубах, сообщающихся с внутренним объемом резервуара.

Измерение уровня в трубах имеет существенные особенности. Это связано с тем, что распространение радиоволн в замкнутом пространстве кардинально отличается от распространения радиоволн в открытом пространстве. Типы радиоволн, используемые для измерения уровня в открытом пространстве резервуаров, совершенно не пригодны для использования в трубах. Их использование приводит не только к большим погрешностям измерения, но и к срыву процесса измерения на отдельных участках трубы. Поэтому производители, заявляющие, что одни и те же модификации их уровнемеров могут работать как в открытом пространстве, так и в трубе, лукавят.

Антенна радарного уровнемера, предназначенного для работы на трубе, генерирует специальный тип радиоволн Н01 и является согласующим устройством между СВЧ-блоком уровнемера и трубой (рис. 11).

Интеграция радарных уровнемеров в системы АСУТП предприятий

Все современные радарные уровнемеры содержат средства для их интеграции в существующие АСУТП. Это осуществляется либо на уровне физических интерфейсов (4...20мА, RS-485), либо на уровне более высокоуровневых сетей и протоколов (Modbus, PROFIBUS, HART, FF).

Наиболее современные уровнемеры поставляются с OPC-сервером, обеспечивающим максимально простую интеграцию в АСУТП, построенные на основе SCADA-систем.



Рис. 10. Применение пульта-конфигуратора для настройки датчика уровня УЛМ4-5, используется инфракрасный порт

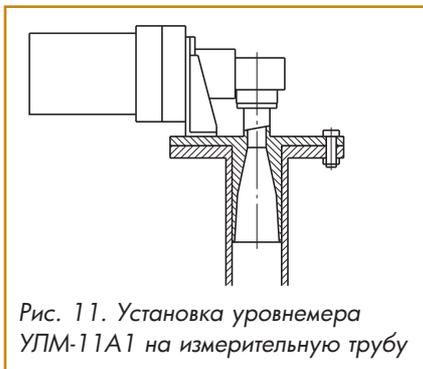


Рис. 11. Установка уровнемера УЛМ-11А1 на измерительную трубу



Рис. 12. Установка для измерения уровня разлива подвижных железнодорожных цистерн

Новые применения радарных уровнемеров

Постоянное техническое совершенствование радарных уровнемеров приводит к расширению их области применения. Так, если до последнего времени радарные уровнемеры использовались главным образом на стационарных резервуарах, то достижения в области формирования узкого луча и повышения чувствительности позволили использовать их на перемещаемых конструкциях. Пример такого использования уровнемера УЛМ-11 схематично показан на рис. 12.

Уровень установлен на стэлле, способной подвигаться сверху к горловине цистерны и оперативно контролировать процесс налива и опорожнения. Такой метод внедрен и успешно используется на Магнитогорском металлургическом комбинате.

Уровень УЛМ-11 располагается на фланце рядом с наливным устройством. При подаче цистерны на загрузку продукта на ее горловину опускается фланец наливного устройства с установленным на нем уровнемером. Ширина луча 4° датчика уровня исключает попадание наливаемого продукта в измерительный луч, что позволяет стабильно измерять уровень продукта во время нали-

ва. Рядом с цистерной на эстакаде установлен местный индикатор, показывающий уровень заполнения цистерны, который позволяет оператору контролировать процесс налива. При достижении необходимого уровня налива цистерны оператор дает команду на отключение насоса. Затем наливное устройство вместе с уровнемером поднимается и подается другая цистерна на загрузку.

Список литературы

1. Либерман В.В., Личков Г.Г. Радарные уровнемеры. Прошлое, настоящее, будущее // Промышленные АСУ и контроллеры. 2006. №8.
2. Joseph J. Cass. Practical Antenna Handbook Fourth Edition. McGraw-Hill.
3. Шмаков А.В. Эффективное измерение уровня сыпучих материалов // Автоматизация в промышленности. 2008. № 11.

Либерман Владимир Вениаминович — генеральный директор ЗАО "ЛИМАКО". Контактный телефон (4872)26-44-09. Http:// www.limaco.ru