











Используя удельную (относительную) плотность ( $d$ ) измеряемого газа, можно вычислить минимальный расход в рабочих условиях  $Q_{\text{мин. раб.}}$  из минимального расхода воздуха при атмосферном давлении  $Q_{\text{мин. возд.}}$ , следующим образом:

$$Q_{\text{min operating}} = Q_{\text{min air}} \sqrt{\left(\frac{P_{\text{atm}}}{P_m}\right) \cdot \left(\frac{1}{d}\right)}$$

где  $P_{\text{атм.}}$  - атмосферное давление (1,01325 бар), а  $P_m$  - абсолютное рабочее давление расходомера в тех же единицах измерения. Для природного газа значение  $d$ , как правило, составляет 0,6-0,7.

Пример:

Типоразмер: G650  
 Макс. расход: 1000 м<sup>3</sup>/ч  
 Мин. расход воздуха, атм. давлении: 50 м<sup>3</sup>/ч

При относительной плотности газа 0,6 и атмосферном давлении:

$$\text{Мин. расход:} = \frac{50}{\sqrt{0.6}} = 64.549 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для газа при атмосферном давлении, поскольку плотность измеряемого газа выше плотности воздуха, минимальный расход увеличивается, а диапазон измерения, соответственно, сужается.

Теперь рассмотрим тот же газ при давлении 6 бар изб.:

Плотность составляет примерно  $0,6 \cdot (6+1) =$  в 4,2 раза выше плотности воздуха.

$$\text{Таким образом, минимальный расход газа составит:} = 50 \cdot \sqrt{\frac{1}{7} \cdot \frac{1}{0.6}} = 24.397 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для газа с удельной плотностью 0,6 при абсолютном давлении 7 бар минимальный расход уменьшается, а диапазон измерения, соответственно, расширяется по отношению к атмосферному давлению.

Диапазоны измерения расходомера SM-RI-X для воздуха при атмосферном давлении  
 для расчета реальных диапазонов измерения газа на объектах по формуле на стр. 6

ДУ	Типоразмер	Q <sub>макс</sub> , р.м3/час	Q <sub>мин</sub> , р.м3/час
Ду 200мм	G 650	1000	50
	G 1000	1600	80
	G 1600	2500	130
Ду 250мм	G 1000	1600	80
	G 1600	2500	130
	G 2500	4000	200
Ду 300мм	G 1600	2500	130
	G 2500	4000	200
	G 4000	6500	320
Ду 400мм	G 2500	4000	200
	G 4000	6500	320
	G 6500	10000	500
Ду 500мм	G 4000	6500	320
	G 6500	10000	500
	G 10000	16000	800
Ду 600мм	G 6500	10000	500
	G 10000	16000	800
	G 16000	25000	1250

Верхняя граница диапазона измерения ограничена максимально допустимой скоростью вращения крыльчатки. Таким образом, максимальный расход является постоянной величиной, не зависящей от давления или плотности газа.

В целях ограничения механической нагрузки на крыльчатку может устанавливаться максимально допустимое значение плотности газа.

Более широкий диапазон измерения может также быть достигнут за счет использования сложного дополнительного оборудования и функций, например, автоматического включения дополнительных циклов измерения, дополнительных датчиков перепада давления с более высоким диапазоном и функцией автоматического переключения и т. д.

Роторно-поршневые расходомеры имеют более широкий диапазон измерения: - так, диапазон расходомера IRM или RABO производства компании Elster может достигать 1:150 и выше. Этот диапазон включает более низкие значения расхода, по сравнению с турбинными расходомерами. Диапазон измерения вихревых расходомеров и других гидродинамических генераторов аналогичен турбинным расходомерам.

### 2.3 Определение погрешности по числу Рейнольдса

Как объяснялось в разделе "Диапазон измерения", нижняя граница диапазона измерения ограничена механическим трением, которое преодолевается с увеличением плотности и, соответственно, давления газа.

При более высоком расходе, когда силы трения становятся пренебрежимо малы по сравнению с фактическими значениями гидродинамических сил, для определения погрешности можно использовать число Рейнольдса.

Число Рейнольдса зависит от расхода, плотности и динамической вязкости газа:

$$Re = K \cdot Q \cdot \frac{\rho}{\eta},$$

где  $K$  - постоянная величина, определяемая геометрией расходомера,  $Q$  - расход,  $\rho$  - плотность в рабочих условиях, а  $\eta$  - динамическая вязкость газа в рабочих условиях. Поскольку динамическая вязкость газа в целом является постоянной величиной, основными переменными являются расход и, соответственно, давление. Если получены одинаковые числа Рейнольдса, значит, погрешность также одинакова.

На рис. 3 показаны кривые погрешностей измерения при различном давлении как функция от расхода газа. При тех же значениях, взятых как функция от числа Рейнольдса, при более высоком расходе получаются более гладкие кривые (см. рис. 4). При более низком расходе на кривую погрешности при разных числах Рейнольдса будут оказывать влияние силы трения. Об этом можно судить по степени изогнутости кривых при различных числах Рейнольдса и различном давлении.

Пример погрешности измерения турбинного расходомера SM-RI-X (диаметр 200 мм, макс. расход 1000 м<sup>3</sup>/с) как функция от расхода при трех разных значениях давления

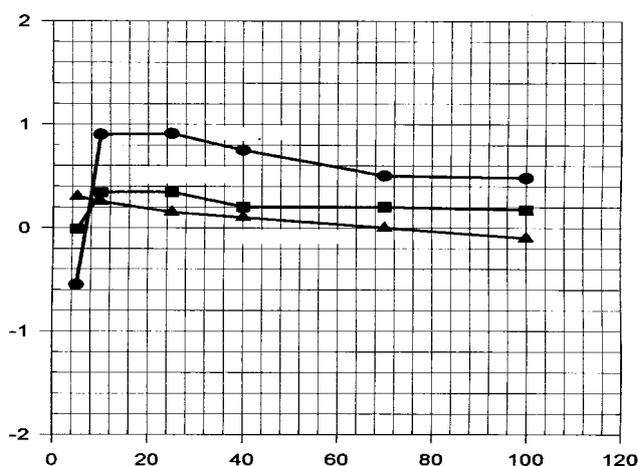
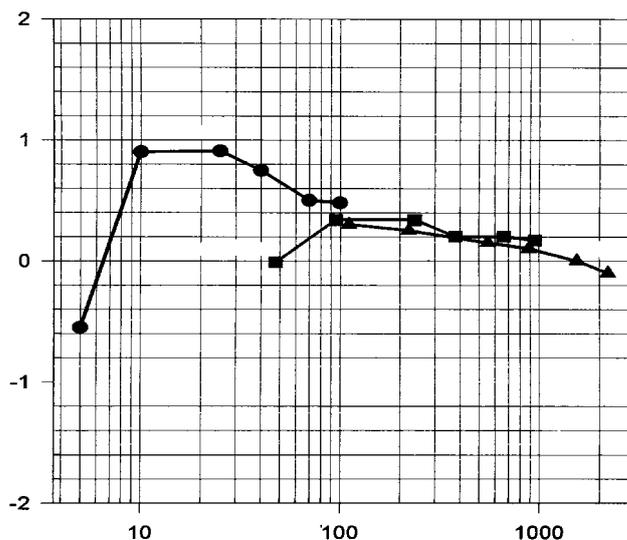


Рис.3 Зависимость погрешности измерения (ордината) от величины расхода, % от  $Q_{\max}$

- P1 = воздух, атмосферное давление
- P2 = газ, 8 бар
- ▲ P3 = газ, 20 бар (отн. плотность 0,64)



Ш

Рис. 4. Значения погрешности измерения (см. рис. 3) как функция от числа Рейнольдса,  $Re/Re(Q_{\max, \text{возд.}}) \%$

При использовании высококачественных расходомеров значения погрешности при более высоком расходе, взятые как функция от числа Рейнольдса, образуют одну гладкую линию, стремящуюся к горизонтали, даже при различном давлении.

Калибровка расходомеров при различном давлении должна выполняться с использованием унифицированных эталонов, допуская лишь небольшие систематические различия. Компания Elster располагает собственным оборудованием для испытаний при высоком и низком давлении, проводимых совместно с Государственной метрологической службой Нидерландов (NMI)\*, которая осуществляет регулярный контроль точности и непротиворечивости контрольно-измерительных приборов.

При меньших числах Рейнольдса кривая погрешности, как правило, изгибается вверх, означая, что скорость измерения в этом случае достаточно высока. Чтобы понять причину этого явления, обратимся к рис. 5. В отсутствии сил трения скорость вращения крыльчатки не будет препятствовать прохождению потока газа через расходомер. На рисунке показан профиль потока при больших и малых числах Рейнольдса и одной и той же скорости вращения крыльчатки. При меньших числах Рейнольдса средняя скорость потока газа значительно ниже при одной и той же скорости крыльчатки, что говорит о высокой скорости измерения. В небольших расходомерах этот эффект компенсирует влияние сил трения.



Рис. 5. Профиль потока в струевыпрямителе расходомера при больших и меньших числах Рейнольдса

Компания Elster располагает собственным испытательным стендом, на котором проводит испытания всех расходомеров при давлении до 8 бар. Испытательные стенды Государственной метрологической службы Германии или Нидерландов позволяют проводить испытания и при большем давлении. Все собранные данные используются в ходе дальнейшего усовершенствования продукции Elster: постоянно растущий объем данных открывает все большие возможности исследований и разработки.

Постоянный доступ к испытательным стендам и огромный накопленный опыт - основные преимущества компании Elster перед конкурентами, играющие главную роль в достижении и поддержании высочайшего качества оборудования.

Таким образом, для точного расчета кривых погрешности измерения турбинных расходомеров специалистам компании Elster достаточно знать лишь их размеры и особенности конструкции.

#### 2.4 Точность/неопределенность измерения

Необходимо четко различать неопределенность измерения объемного расхода газа турбинным расходомером и неопределенность последующего измерения количественных параметров газа. В последнем случае важную роль играют неопределенность измерения давления и температуры, точность определения состава и неопределенность измерения свойств газа.

Другим важным аспектом является повторяемость измерения. Для расходомеров SM-RI-X повторяемость составляет порядка 0,1 % или выше, что является лучшим результатом по сравнению с другими расходомерами. Это означает, что если измерение выполняется повторно при одном и том же числе Рейнольдса, погрешность расходомера также останется прежней (в пределах 0,1 %). В это значение входит систематическая ошибка, связанная с формой кривой погрешности при данном числе Рейнольдса. Как правило, систематическую ошибку нельзя скорректировать, и она рассматривается в составе неопределенности измерения.

Таким образом, неопределенность измерения объемного расхода газа зависит от максимальной погрешности в диапазоне измерения расходомера, составляя для большинства значений расхода  $\pm 1$  %.

В ходе проведения испытаний SM-RI-X на проливочных стендах были подтверждены следующие пределы погрешности измерения для следующих зон объемного рабочего расхода:

Пределы допускаемой относительной погрешности измерений объемного расхода (объема), %:	
- при атмосферном давлении:	
- в диапазоне от $Q_{\min}$ до $0,2Q_{\max}$	$\pm 2,0$
- в диапазоне от $0,2Q_{\max}$ до $Q_{\max}$	$\pm 0,5$
- при давлении выше атмосферного:	
- в диапазоне от $Q_{\min}$ до $0,2Q_{\max}$	$\pm 1,0$
- в диапазоне от $0,2 Q_{\max}$ до $Q_{\max}$	$\pm 0,5$

В некоторых случаях максимальную погрешность можно несколько уменьшить за дополнительную плату. В настоящий момент уменьшение погрешности можно сделать для расходомеров с рабочим диаметром от 250 мм и рабочим давлением от 10 бар.

Измерение объемного расхода газа выполняется на лопастях турбины. Поскольку контрольная точка  $P_r$ , в которой измеряется давление, находится в непосредственной близости от лопасти, погрешность измерения будет иметь значение, если давление (или плотность), используемые для расчета количества газа, будут отличаться от соответствующих значений в этой точке.

В настоящий момент общая неопределенность измерения объемного расхода газа при высоком давлении составляет всего 0,5 %, включая неопределенность эталона, используемого при калибровке расходомера (0,3 %). Повторяемость измерения турбинного расходомера может достигать почти 0,1 %.

В случае с диафрагменными расходомерами неопределенность измерения составляет 0,6 % (только для самой диафрагмы). Повторяемость при измерении в течение нескольких часов оказывается ненамного лучше.

Неопределенность измерения роторно-поршневых расходомеров аналогична турбинным расходомерам.

## 2.5 Линейность измерения

Линейность измерения расходомера возрастает, если калибровочная кривая (кривая погрешности) стремится к ровной горизонтальной линии. Расходомер, калибровочная кривая которого полностью горизонтальна, будет обладать абсолютной линейностью измерения. Линейность представляет собой альтернативный способ выражения неопределенности, описанной выше.

Диафрагменные расходомеры в данном случае демонстрируют квадратичную зависимость, и для определения линейности необходимо выполнить пересчет.

Линейность измерения роторно-поршневых расходомеров также очень высока.

## 2.6 Калибровка

Калибровка всех турбинных расходомеров SM-RI-X выполняется с использованием воздуха (или иных чистых газов) при атмосферном давлении. Компания Elster имеет собственные метрологические проливочные, которые одобрены Государственными метрологическими службами Германии (PTB), Нидерландов (NMI). Самостоятельная калибровка устройства может быть выполнена в присутствии представителя государственной метрологической службы, который подтверждает соответствие необходимым требованиям, например, ЕЭК.

Допускается также калибровка расходомеров на высоком давлении, в зависимости от их типоразмеров и допустимых проектных рабочих давлений. Например, компания Elster располагает собственным испытательным стендом с рабочими давлениями до 8 бар.

Калибровка расходомеров с еще более высокими характеристиками давления и точности может быть выполнена на одном из испытательных стендов в Европе, например, в Нидерландах, на территории NMI в Бельгии (давление до 50 бар), либо в лаборатории Бернулли компании Gasunie в г. Вестерборк, либо в любой другой организации, имеющей соответствующие полномочия.

В настоящее время турбинные расходомеры обладают лучшей долговременной и кратковременной повторяемостью измерения по сравнению с другими типами расходомеров газа и поэтому лучше всего подходят для выполнения самостоятельной калибровки. Данные, полученные в ходе заводской калибровки, должны полностью совпадать с результатами самостоятельной калибровки и использования по месту эксплуатации. При проведении самостоятельной калибровки расходомеров, не обладающих столь высокой повторяемостью, значительное время уйдет на определение средних значений погрешности. Если же время выполнения калибровки ограничено, неопределенность измерения возрастет.

## 2.7 Законодательные требования к коммерческому учету газа

Расходомеры SM-RI-X, предлагаемые компанией Elster, могут отвечать требованиям любого применимого национального или международного законодательства к коммерческому учету газа. Так, мы предлагаем полный ассортимент расходомеров, отвечающих требованиям ЕЭК, а если применимо, и требованиям национального законодательства страны применения.

Турбинные расходомеры SM-RI-X отвечают требованиям стандартов ГОСТ Р 8.740 – 2011, ГОСТ Р 8.741 – 2011, ISO 9951, а также всем национальным стандартам РФ, Европы и США, регулирующих метрологическое обеспечение коммерческих узлов учета газа.

Компания Elster выполняет калибровку всех своих расходомеров в соответствии с требованиями международных метрологических стандартов под наблюдением представителей Государственной метрологической службы Германии (PTB) и Нидерландов (NMI).

Представители метрологических служб присутствуют на каждой процедуре калибровки расходомеров SM-RI-X. По результатам комплексных испытаний выдается соответствующий сертификат. Возможно также проведение дополнительных испытаний, по желанию заказчика, (например, испытания устойчивости к электромагнитным помехам на специальном испытательном стенде, или др.).

## 2.8 Стабильность измерения

Стабильность работы турбинных расходомеров SM-RI-X была убедительно продемонстрирована в ходе комплексных проливочных и эксплуатационных испытаний, выполненных голландской газотранспортной компанией Gasunie (1). Результаты испытаний показывают, что

на протяжении 15 лет среднее взвешенное значение погрешности 128-ми расходомеров выросло не более чем на  $\pm 0,6\%$ , кроме одного исключительного примера (0,9 %).

Поскольку компания Elster постоянно совершенствует свои турбинные расходомеры, характеристики каждого следующего расходомера будут немного превосходить характеристики предыдущего.

Для работы с газами высокой плотности (например, этиленом) и природным газом высокого давления компания Elster разработала более прочные подшипники, увеличивающие стабильность расходомера. Эти подшипники могут использоваться, только если рабочие характеристики при низком давлении неважны.

Корпус расходомера, как правило, изготавливается из высокопрочного чугуна, стали или нержавеющей стали, внутренние компоненты - из алюминия, а уплотнительные кольца - из материала Viton. Эти материалы гарантируют надежность использования расходомера с газами коммерческого назначения. При использовании газов промышленного назначения необходимо убедиться в совместимости используемых материалов.

Поскольку невозможно гарантировать, чтобы в нормальных условиях работы температура в любой части расходомера не превысила допустимое значение, это следует в обязательном порядке учитывать при работе с кислородом.

## 2.9 Краткосрочная стабильность измерения

Краткосрочная стабильность измерения зависит от колебаний температуры и давления, а также качества газа. Как описано в разделах "Диапазон измерения" и "Определение погрешности по числу Рейнольдса", плотность газа влияет на диапазон расхода расходомера. На плотность, в свою очередь, влияют давление, температура и состав газа. Непосредственное влияние этих параметров на точность расходомера описано ниже:

### Температура

При изготовлении стандартных расходомеров материалы, допуски и смазочные вещества подбираются таким образом, чтобы рабочая температура находилась в диапазоне  $-25...+70$  °C. При соблюдении этого диапазона непосредственным влиянием температуры на точность расходомера можно пренебречь.

### Давление

Материалы корпуса расходомера могут отвечать требованиям любых применимых стандартов по безопасности, в частности ASTM, API, DIN, а материалы компонентов - стандартам ASME, ANSI, BS, AD-M или Stoomwezen. Давление не оказывает непосредственного влияния на точность расходомера.

### Состав газа

Состав газа влияет на показания расходомера только опосредованно через плотность и вязкость. В нормальных условиях работы колебания состава газа невелики и их влиянием на точность расходомера можно пренебречь.

## 2.10 Влияние колебаний расхода газа на точность измерения

В целом турбинные расходомеры достаточно быстро реагируют на колебания расхода газа. Отклик на увеличение расхода, как правило, выше отклика на уменьшение расхода. При высоком расходе время отклика очень невелико, даже если расход уменьшается. Однако, когда расход опускается до низких значений, время отклика значительно возрастает.

В связи с этим не рекомендуется использовать турбинные расходомеры в составе оборудования, которое часто включается и выключается с короткими периодами включения, во избежание значительного завышения показаний.

При очень низкой частоте импульсов влиянием синусоидальных колебаний расхода можно пренебречь. Изменение скорости вращения лопастей турбины точно соответствует изменению расхода. При более высокой частоте такая точность более не обеспечивается, и показания расходомера будут завышены. При очень высокой частоте, когда лопасти вращаются с постоянной скоростью, погрешность измерения рассчитывается, как для синусоидальных колебаний расхода.

Если принять амплитуду колебаний за  $\Delta Q$ , а средний расход за  $Q$ , то коэффициент для расчета колебаний  $I$  можно вычислить следующим образом

$$I = \frac{\Delta Q}{Q}$$

При более высокой частоте импульсов погрешность измерения составит

$$E = 1/2 I^2.$$

Величины погрешностей для SM-RI-X, указанные в разделе «2.4 Точность/неопределенность измерения», включают в себя погрешность импульсных выходов  $E$ .

При более низкой частоте импульсов уменьшается и погрешность измерения. С учетом сказанного, можно рассчитать наиболее вероятное влияние колебаний расхода для большинства случаев.

В Приложении 2 приведено уравнение движения расходомера.

### **3. МОНТАЖ**

#### **3.1 Установочная длина**

Измерение кривой погрешности расходомера выполняется в ходе калибровки на испытательном стенде с осесимметричным потоком газа без закрутки. Вход расходомера оснащен встроенным струевыпрямителем, устраняющим турбулентность и неравномерность профиля потока. Компания Elster ведет систематический контроль эффективности струевыпрямителей при высоком и низком давлении на различных испытательных стендах.

Встроенный запатентованный струевыпрямитель X4X расходомера SM-RI-X отвечает всем требованиям стандартов ГОСТ 8.586 и ISO 9951 по высокой и низкой степени турбулентности, и не требует использования в связке с расходомером других дополнительных устройств, выпрямляющих поток измеряемой среды.

Встроенный струевыпрямитель SM-RI-X является неотъемлемой частью расходомера и не требует дополнительной сертификации или документирования.

Согласно ISO 9951, производитель обязан указать условия монтажа, при которых уровень турбулентности потока не будет превышать 0,33 % по сравнению с условиями нулевой турбулентности. SM-RI-X не требуют использования внешнего струевыпрямителя или увеличения длины прямого участка трубопровода перед расходомером, для поддержания высокой и низкой степени турбулентности в пределах 0,15 %, согласно ISO 9951.

Высокая степень турбулентности потока, согласно ISO 9951, моделируется при использовании двух колен трубопровода, расположенных в перпендикулярных плоскостях, и сегментной диафрагмы, расположенной между этими коленами, которая закрывает половину площади сечения трубопровода. Диаметр колен превышает рабочий диаметр расходомера на один диаметр трубопровода. Длина прямого участка трубопровода между областью турбулентности и расходомером не превышает величину двух диаметров трубопровода. Моделирование турбулентности потока выполняется с помощью регулятора, позволяющего создать четко

структурированный неравномерный поток с закруткой. При проведении комплексных испытаний SM-RI-X показали, что сдвиг относительной погрешности измерения при различных величинах турбулентности потока не превышает  $\pm 0,15\%$  от заявленных величин погрешностей на стабильном потоке.

Поскольку конструкция и условия работы регуляторов значительно варьируются, конкретные регуляторы могут повышать степень турбулентности потока, установленную ISO 9951. Также может потребоваться еще более снизить погрешность монтажа. Одним из наиболее эффективных способов замедления потока, выходящего из регулятора, считается установка в трубопровод тройника, один выход которого закрыт заглушкой (см. рис. 6). В этом случае регулятор не будет ухудшать условия, установленные ISO.



Рис. 6. Рекомендуемые способы установки регулятора в трубопроводе перед расходомером

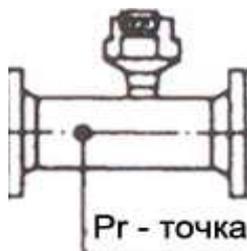
Встроенный струевыпрямитель SM-RI-X способен устранить влияние турбулентности потока даже при установке после регулятора.

Между струевыпрямителем и фланцем расходомера должен быть предусмотрен прямой участок длиной минимум в один диаметр трубопровода.

Длина, равная двум и более диаметрам, эффективно отделяет регулятор от расходомера. Поскольку струевыпрямитель дополнительно способствует падению давления, он должен использоваться только при давлении до 16 бар. Для условий, включая давление, когда невозможно использовать струевыпрямитель FC 20 или тройник, компания Elster предлагает специализированные струевыпрямители, не уступающие по эффективности.

Таким образом, установочная длина прямого участка перед SM-RI-X не должна быть менее  $2D_n$  типоразмера счетчика. Наличие прямого участка после расходомера не требуется.

На корпусе расходомера предусмотрено монтажное отверстие отбора давления для датчика давления (рис. Pr точка). Давление в трубопроводе рекомендуется измерять в этой точке.



Однако в соответствии с особенностями измерительного узла и местными стандартами, отбор давления для датчика может быть осуществлен на монтажных участках до и после расходомера.

Компания Elster добилась снижения чувствительности к турбулентности потока перед расходомером до уровня, обычно характерного для роторно-поршневых расходомеров.

Что касается диафрагменных расходомеров, для обеспечения заявленной максимальной точности 0,6 % необходимо обеспечить длину прямого участка трубопровода, равную 80 номинальным диаметрам трубопровода, согласно ISO 5167.

### 3.2 Превышение максимально допустимой скорости вращения крыльчатки

Турбинные расходомеры - счетчики рассчитаны на расход газа, на 20 % кратковременно превышающий максимальное значение. Слишком высокая скорость вращения крыльчатки может привести к повреждению подшипников и самой крыльчатки.

Превышение максимально допустимой скорости вращения крыльчатки, как правило, возникает при подаче газа в расходомер в неконтролируемых условиях. Конструкция трубопровода должна быть выполнена таким образом, чтобы газ подавался в расходомер по участку малого диаметра, а участок, в который устанавливается расходомер, имел наименьший объем.

При выборе оптимального внутреннего диаметра трубопровода и организации байпасной линии в обход главного клапана, как показано в таблице, расход будет ограничиваться значением, указанным в таблице (для природного газа).

Если расходомер устанавливается в отдельный участок трубопровода, подачу газа в участок после расходомера необходимо выполнять с большой осторожностью. Рекомендуется выполнять подачу газа в участок после расходомера по трубе, диаметр которой указан в таблице.

Нередко рекомендуется подавать газ в трубопровод после расходомера через байпасную линию, обходящую клапан после расходомера, так чтобы диаметр  $d_2$  был равен одной четвертой диаметра клапана после расходомера. Работа с данным клапаном требует исключительной осторожности во избежание превышения максимально допустимой скорости турбины.

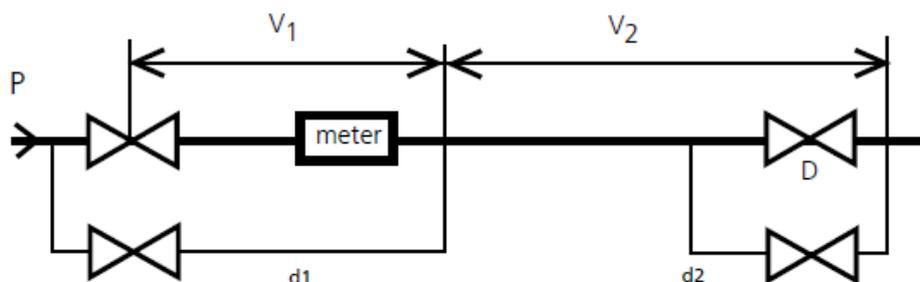


Рис. 7. Рекомендуемые способы подачи газа в расходомер

Диаметр  $d_1$  и  $d_2$  выбирается по таблице 1

Таблица 1.

Максимальный расход в байпасной линии с внутренним диаметром  $d$  ( $P = \text{бар}$ )

$d$ , мм	$\text{м}^3/\text{ч}$
10	60.P
12	90.P
15	140.P
20	250.P
25	400.P

### 3.3 Падение давления

Падение давления на крыльчатке турбины расходомера пропорционально плотности газа и квадрату скорости расхода.

Для каждого типа расходомера компания Elster устанавливает значение падения давления газа с относительной плотностью 0,6 при атмосферном давлении и максимальном расходе.

Для газов с различной относительной плотностью и при различном давлении падение давления рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta P_m = \Delta P_{\text{спес}} \cdot \left( \frac{d}{0.6} \right) \cdot \left( \frac{P_m}{P_{\text{атм}}} \right) \cdot \left( \frac{Q_m}{Q_{\text{макс}}} \right)^2$$

где:

- $\Delta P_m$  - Расчетный перепад (мбар) при текущем давлении, расходе и составе газа;
  - $d$  - Относительная плотность газа при ст. усл.;
  - $P_m$  - Абсолютное давление газа в трубопроводе (КПа);
  - $P_{\text{атм}}$  - Атмосферное давление = 101.3 (Кпа);
  - $Q_{\text{макс}}$  - Максимальный расход типоразмера счетчика (раб. м3/час);
  - $Q_m$  - Текущий расход газа в трубопроводе (раб. м3/час);
  - $\Delta P_{\text{спес}}$  - Табличная величина падения давления на расходомере (мбар), определенная в лабораторных условиях при проливке счетчика газом с относительной плотностью 0.6 при атмосферном давлении = 101.3 Кпа и T=20С на максимальном расходе,
- Ниже в таблице указаны значения  $\Delta P_{\text{спес}}$ , которые определены из условия расположения точек отбора давления для датчика перепада в пределах расстояния = 1хДу от фланцев счетчика:

Ду (мм)	Типоразмер счетчика	Перепад давления, мбар	Qмакс, (р. м3/час)
DN 200	G650	1,5	1000
	G1000	3,0	1600
	G1600	8,0	2500
DN 250	G1000	1,5	1600
	G1600	4,5	2500
	G2500	10,0	4000
DN 300	G1600	1,5	2500
	G2500	5,0	4000
	G4000	14,0	6500
DN 400	G2500	1,5	4000
	G4000	5,0	6500
	G6500	13,0	10000
DN 500	G4000	1,5	6500
	G6500	6,5	10000
	G10000	15,0	16000
DN 600	G6500	1,5	10000
	G10000	5,0	16000
	G16000	10,5	25000

В процессе эксплуатации допускается увеличение перепада давления до 20% от расчетных величин  $\Delta P_m$ .

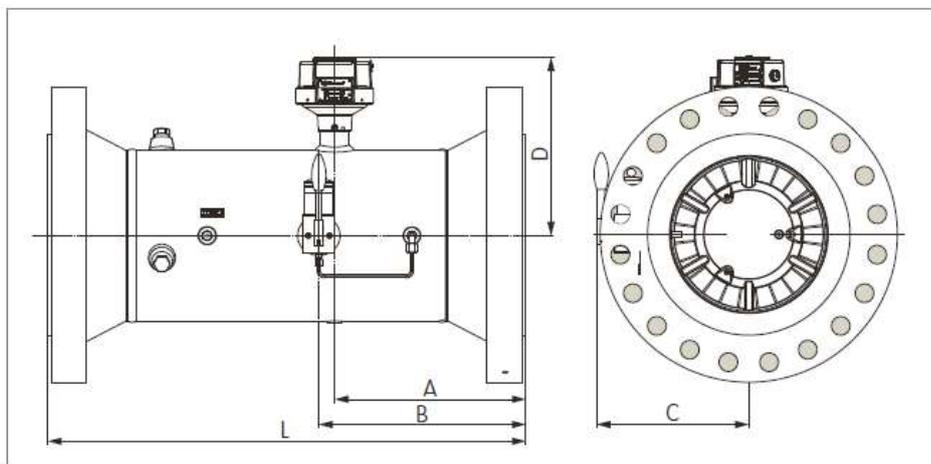
Необходимость контроля перепада давления определяется техническими условиями и особенностями измерительного комплекса.

### 3.4 Габаритные размеры

На сегодняшний день турбинные расходомеры отличаются самыми компактными размерами и самой малой установочной длиной по сравнению с расходомерами других типов. Встроенный струевыпрямитель специальной конструкции X4X также минимизирует рабочее пространство. Габаритные размеры расходомера SM-RI-X приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Габаритные размеры расходомера SM-RI-X



Ду, мм,"	Типо-размер	A, мм	B, мм	C, мм	D, мм	L, мм	PN	Материал корпуса	Вес, кг	ANSI	Материал корпуса	Вес, кг
DN 200 8"	G 650 G 1000 G 1600	240	240	273	298	600	PN 10	GGG-40	70 (77)	ANSI150 ANSI300 ANSI400 ANSI600	GGG-40	70 (91)
							PN 16	(Сталь)	70 (77)		(Сталь)	117
							PN 25	GGG-40	89		Сталь	135
							PN 40	Сталь	98		Сталь	155
							PN 64	Сталь	125			
DN 250 10"	G 1000 G 1600 G 2500	300	360	327	314	750	PN 10	Сталь	90	ANSI150 ANSI300 ANSI400 ANSI600	Сталь	108
							PN 16	Сталь	95		Сталь	148
							PN 25	Сталь	108		Сталь	170
							PN 40	Сталь	128		Сталь	236
							PN 64	Сталь	156			
DN 300 12"	G 1600 G 2500 G 4000	360	390	352	338	900	PN 10	Сталь	120	ANSI150 ANSI300 ANSI400 ANSI600	Сталь	160
							PN 16	Сталь	130		Сталь	210
							PN 25	Сталь	150		Сталь	240
							PN 40	Сталь	180		Сталь	290
							PN 64	Сталь	240			
DN 400 16"	G 2500 G 4000 G 6500	480	510	395	380	1200	PN 10	Сталь	350	ANSI150 ANSI300 ANSI400 ANSI600	Сталь	400
							PN 16	Сталь	380		Сталь	460
							PN 25	Сталь	410		Сталь	490
							PN 40	Сталь	460		Сталь	580
							PN 64	Сталь	510			
DN 500 20"	G 4000 G 6500 G 10000	600	630	445	431	1500	PN 10	Сталь	550	ANSI150 ANSI300 ANSI400 ANSI600	Сталь	650
							PN 16	Сталь	600		Сталь	800
							PN 25	Сталь	640		Сталь	830
							PN 40	Сталь	690		Сталь	980
DN 600 24"	G 6500 G 10000 G 16000	720	750	495	482	1800	PN 10	Сталь	900	ANSI150 ANSI300 ANSI400 ANSI600	Сталь	1050
							PN 16	Сталь	950		Сталь	1300
							PN 25	Сталь	1000		Сталь	1350
											Сталь	1500

## **4. ВЫХОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

### **4.1 Механические выходы**

Расходомеры оснащаются механическим считывающим устройством, доступным в нескольких версиях. Все считывающие устройства имеют шкалу с четко читаемыми цифрами и отличаются высокой надежностью при использовании вне помещений. Имеются версии, подходящие для использования в жарком климате. Также имеется версия для работы с газами при низкой температуре (до - 30 °С), позволяющая устанавливать расходомер после станции понижения давления, не имеющей подогрева, для предотвращения обмерзания корпуса считывающего устройства.

### **4.2 Электрические выходы**

В стандартной комплектации расходомера датчики импульсов (HF) получают высокочастотные сигналы либо от лопаток крыльчатки турбины, либо от вспомогательного диска, установленного на валу турбины. Необработанные данные передаются на специальные датчики, выходы которых находятся на корпусе расходомера

Существует также возможность применения считывающих устройств с генераторами импульсов низкой (LF) и средней (MF) частот.

Импульсы от датчиков могут передаваться на преобразователи тока, усилители и другие устройства, совместимые с датчиками, в частности, искробезопасное электронное оборудование.

В зависимости от комплектации расходомера и типа применяемого считывающего устройства, существуют различные способы передачи импульсных сигналов при снятии данных о расходе с SM-RI-X.

Ниже в таблице указаны возможные стандартные комбинации параметров импульсных сигналов расходомера.

Ду	Типоразмер	Q <sub>макс</sub> , р.м3/час	LF, имп/м3 *	MI-2, MF, Гц при Q <sub>макс</sub>	HF, Гц при Q <sub>макс</sub>
Ду 200мм	G 650	1000	0,1/1	30	770
	G 1000	1600	0,1/1	47	1180
	G 1600	2500	0,1/1	46	1060
Ду 250мм	G 1000	1600	0,1/1	49	825
	G 1600	2500	0,1/1	77	1320
	G 2500	4000	0,1/1	69	1200
Ду 300мм	G 1600	2500	0,1/1	26	810
	G 2500	4000	0,1/1	42	1270
	G 4000	6500	0,1/1	39	1175
Ду 400мм	G 2500	4000	0,1/1	88	660
	G 4000	6500	0,1/1	141	1055
	G 6500	10000	0,1/1	121	890
Ду 500мм	G 4000	6500	0,1/1	72	530
	G 6500	10000	0,1/1	116	865
	G 10000	16000	0,1/1	105	770
Ду 600мм	G 6500	10000	0,01/0,1	26	470
	G 10000	16000	0,01/0,1	41	720
	G 16000	25000	0,01/0,1	38	650

\* - Импульсы от 1 или 10 магнитов

В таблице указаны типовые значения MF и HF; точные значения определяются при калибровке.

По заказу пользователя, компания Elster может применять для считывания сигналов иные, не стандартные комбинации индуктивных датчиков. Параметры считывающих сигналов при этом могут отличаться от табличных величин.

Дополнительно целостность и работоспособность рабочей турбины SM-RI-X контролируется сравнением показаний двух частотных импульсов расходомера путем контроля передаточного числа импульсных сигналов (HF1/HF2), которое при нормальном рабочем режиме является постоянной величиной.

При использовании в связке с расходомером вычислителя расхода enCore FC1 производства компании Elster, в случае нештатной ситуации или затруднении движения потока, передаточное число импульсов меняется, и контроллер посылает сигнал тревоги в диспетчерский пункт.

### 4.3 Смазочные узлы

Для того, чтобы продлить срок службы и точность расходомеров SM-RI-X, необходима смазка подшипников турбины. Она может осуществляться снаружи. В зависимости от размера счетчика и параметров рабочего давления, в конструкции расходомера возможно применение смазочной системы с ручным насосом.

Частота смазывания зависит от условий эксплуатации и, для очищенных газов и нормальной нагрузки, составляет 2-3 раза в год.

При использовании загрязненных или едких газов, а также при высоких нагрузках желательно обратиться за советом в представителям компании Elster.

Для смазки подшипников счетчика SM-RI-X (или заправки масляного насоса) допустимо применение следующих масел:

- \*ISO FLEX PDP 38;
- \*Shell RISELLA Oil D15;
- \*Shell TELLUS T15;
- \*Shell MORLINA 15;
- \*Shell TELLUS C10;
- \*Shell MORLINA Oil 10;
- \*VOLTOL OIL 22 [32]

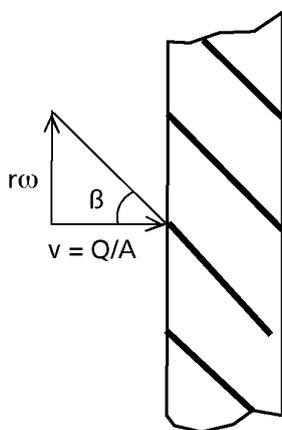
Возможно применение других минеральных масел, не содержащее смол и кислот, вязкостью не более 30 сСт при температуре 200С и точкой затвердевания ниже минус 50С .

Если масло и газ несовместимы, пожалуйста обращайтесь к представителям компании Elster.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### ИДЕАЛЬНЫЙ ТУРБИННЫЙ РАСХОДОМЕР

В идеальной модели расходомера тормозящие силы и толщина лопаток крыльчатки турбины равны нулю, основная движущая сила сконцентрирована в области среднего радиуса крыльчатки, а поток газа, подаваемый на крыльчатку, равномерно распределен и осесимметричен.



*Рис. 8. Схема определения скорости вращения идеальной крыльчатки турбины радиусом ( $r$ )*

Как показано на рис. 8, для идеального турбинного расходомера скорость вращения крыльчатки турбины составляет:

1)

$$\omega = \frac{\tan \beta \cdot Q}{r \cdot A}, \text{ где:}$$

- $r$  = средний радиус крыльчатки турбины
- $A$  = площадь кольцевой щели
- $\beta$  = угол установки лопатки
- $Q$  = объемный расход газа
- $\omega$  = угловая скорость вращения крыльчатки

где  $v = \frac{Q}{A}$

( $v$  = скорость потока газа)  
для данного расходомера.

Формула (1) убедительно демонстрирует, что скорость вращения крыльчатки турбины прямо пропорциональна расходу газа.

Таким образом, измерив число оборотов крыльчатки и пересчитав их на видимый объем, можно вычислить объем газа, проходящего через расходомер. Подобный метод расчета применим и к роторно-поршневому расходомеру.

### РЕАЛЬНЫЙ ТУРБИННЫЙ РАСХОДОМЕР

В реальном расходомере действуют силы сопротивления, вызываемые механическим трением в подшипниках и регистрирующем оборудовании, а также трением потока газа о лопатки турбины.

Отношение  $\omega/\omega_i$  соответствует процентному отношению показаний реального расходомера к показаниям идеального. Это отношение, в свою очередь, равно отношению движущей силы к тормозящей.

$$2) \quad \frac{\omega}{\omega_i} = PR = 1 - \frac{M_r}{M_d}, \text{ где:}$$

PR = Показания реального расходомера в процентах от показаний идеального

$M_r$  = Суммарный тормозящий момент

$M_d$  = Фактический крутящий момент

Крутящий момент  $M_d$  пропорционален кинетической энергии потока, либо вычисляется следующим образом:

$$3) \quad M_d \cong \rho \cdot Q^2$$

$M_d$  = крутящий момент

$\rho$  = плотность потока

$Q$  = объемный расход

и тормозящий момент  $M_R$ :

$$4) \quad M_R = M_f + M_n, \text{ где}$$

$M_f$  = тормозящий момент, создаваемый механическим трением

$M_n$  = тормозящий момент, создаваемый потоком.

Выполним соответствующие замены в формуле (2), получим следующее:

$$5) \quad PR = 1 - \left[ \frac{K(M_f + M_n)}{\rho Q^2} \right]$$

$K$  = постоянная величина

Данная формула убедительно показывает, что для обеспечения требуемой точности расходомера тормозящий момент должен составлять не более 1-2 % от фактического крутящего момента.

Поскольку крутящий момент прямо пропорционален плотности потока газа, а плотность газа пренебрежимо мала при низком давлении, тормозящий момент в расходомере при измерении расхода газа низкого давления должен быть как можно ниже. Следует отметить, что энергии, отдаваемой потоком, достаточно для превышения тормозящего момента, а при более высокой плотности ее еще больше. Кроме того, для обеспечения линейности измерения, с которой связана точность расходомера, тормозящий момент должен быть или пренебрежимо мал, или пропорционален крутящему моменту.

*Минимальный расход газа* для турбинного расходомера, как правило, измеряется в ходе серии испытаний с использованием воздуха при низком давлении, с целью определить расход, при котором достигается максимальная точность измерений. Минимальный расход для любых других условий можно определить через уравнение, в левой части которого будут нахо-

даться новые условия, а в правой - минимальные условия, определенные в ходе испытаний. Поскольку крутящий момент в обоих условиях должен быть одинаков, данное уравнение можно представить следующим образом:

6)

$$M_d = [\rho_{\text{возд. баз.}} Q^2_{\text{мин. возд.}}] = [\rho_m Q^2_{\text{мин. раб.}}],$$

где  $\rho_{\text{возд. баз.}}$  - плотность воздуха в базовых условиях, при которых проводились испытания на определение минимального расхода, а  $\rho_m$  - плотность измеряемого газа в рабочих условиях.

Если принять значение температуры за постоянную величину, а измеряемый газ (в первом приближении) за идеальный газ, применяется следующая формула:

7)

$$\rho_m = d \frac{P_m}{P_b} \rho_{\text{возд. баз.}}, \text{ где}$$

Где  $P_m$  и  $P_b$  - значения абсолютного давления в рабочих и базовых условиях соответственно, а

$d$  - плотность газа относительно воздуха.

Выполнив соответствующие замены, получим формулу для минимального расхода в рабочих условиях, упоминаемую выше:

8)

$$Q_{\text{мин. раб.}} = Q_{\text{мин. возд.}} \sqrt{\left(\frac{P_{\text{атм}}}{P_m}\right) \cdot \left(\frac{1}{d}\right)}$$

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

### **УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТУРБИННЫХ РАСХОДОМЕРОВ**

Примерное уравнение движения крыльчатки турбины расходомера выглядит следующим образом:

$$\frac{df}{dt} = AQ (Q - f)$$

где  $f$  - угловая скорость крыльчатки (нормализованная),  $Q$  - нормализованный расход, а  $A$  - постоянная величина (2).

Это система первого порядка с постоянной времени  $T = 1/AQ$ , и на данном этапе вычисляется значение  $\Delta Q$  расхода:

$$f = Q - \Delta Q \exp(-tAQ)$$

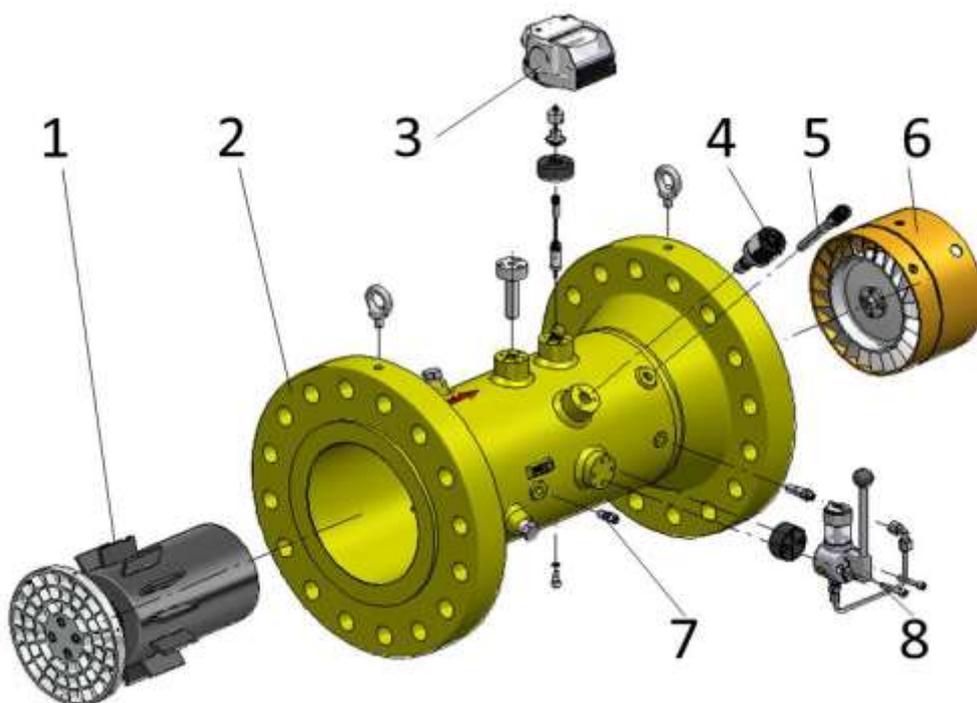
Значение расхода  $Q$  используется после данного этапа.

Постоянная  $A$  обратно пропорциональна моменту инерции крыльчатки и прямо пропорциональна плотности потока. Для постоянной времени действует обратно пропорциональная зависимость. При расходе, равном нулю, в условиях вакуума и в отсутствии трения в подшипниках постоянная времени стремится к бесконечности, и крыльчатка может вращаться бесконечно долго. Если расход больше нуля, постоянная времени имеет конечное значение.

В большинстве случаев, когда силы трения пренебрежимо малы в сравнении с гидродинамическими силами, должно быть достаточно вышеприведенных формул. Однако в (3) приводится более подробный анализ динамики крыльчатки турбины.

### **ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

#### **ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТИПОВОЙ КОНСТРУКЦИИ РАСХОДОМЕРА-СЧЕТЧИКА SM-RI-X**



1. Струевыпрямитель.
2. Корпус счетчика.
3. Считывающее механическое устройство.
4. Генератор импульсных выходов (ИФ).
5. Платформа монтажа датчика температуры (опционально, в зависимости от типоразмера).
6. Измерительный турбинный модуль.
7. Точка отбора для датчика давления.
8. Смазочный ручной насос (опционально, в зависимости от типоразмера).

**БИБЛИОГРАФИЯ**

- 1: de Jong S., v.d. Kam P.M.A., High pressure recalibration of turbine meters; in Flow Measurement, Proceedings of Flomeko '93 Seoul, Korea, edited by S.D. Park and F.C. Kinghorn. ISBN 898-454-0180-6.
- 2: Dijstelbergen H.H, Dynamic response of turbine flow meters, Instrument Review, 1966 June, pp 241 - 244.
- 3: Lee W.F.Z., Kirik M.J., Bonner J.A., Gasturbine flowmeter measurement of pulsating flow, Trans ASME, Journal of engineering for power, 1975 October, pp 531 - 539.

**ГОСТы РФ:**

ГОСТ Р 8.740 – 2011  
ГОСТ Р 8.741 – 2011

**МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ:**

ISO 9951: 1993, Измерение расхода газа в замкнутых трубопроводах - Расходомеры турбинные.

**Рекомендации Международной организации по законодательной метрологии:**

OIML R6, Общие технические требования к объемным расходомерам газа  
OIML R32, Расходомеры роторно-поршневые и турбинные

**Газовая ассоциация США:**

Отчет AGA №7, Измерение расхода газового топлива с помощью турбинных расходомеров.

IhhijkZfijhZbihjdbh[jZsZckv

Архангельск (818) 22-22-65  
 Брянск (4822) 39-50-56  
 Владимир (47) 23-92-38  
 Екатеринбург (343) 22-95-61  
 Иваново (4932) 22-95-61  
 Казань (8432) 22-95-61  
 Кемерово (3822) 48-95-05  
 Кисловодск (878) 22-95-61  
 Краснодар (862) 22-95-61  
 Красноярск (391) 22-95-61  
 Курган (381) 22-95-61  
 Липецк (4872) 44-05-30  
 Магнитогорск (359) 22-95-61  
 Москва (495) 22-95-61  
 Мурманск (3853) 22-95-61  
 Нижний Новгород (831) 22-95-61  
 Новокузнецк (3843) 22-95-61  
 Новосибирск (383) 22-95-61  
 Омск (381) 22-95-61  
 Оренбург (3532) 22-95-61  
 Орск (381) 22-95-61  
 Пенза (8412) 22-95-61  
 Пермь (342) 22-95-61  
 Ростов-на-Дону (863) 22-95-61  
 Самара (846) 22-95-61  
 Саратов (845) 22-95-61  
 Симферополь (800) 22-95-61  
 Ставрополь (8652) 57-76-63  
 Сургут (3462) 77-96-35  
 Сыктывкар (8212) 28-83-02  
 Тольятти (848) 22-95-61  
 Томск (3822) 48-95-05  
 Тула (4872) 44-05-30  
 Ульяновск (8422) 42-51-95  
 Уфа (347) 258-82-65  
 Челябинск (351) 277-89-65  
 Ярославль (4852) 67-02-35

kZcIJRUJD]SURVROXWLRQUXweihzHVVU\$SURVROXWLRQUX  
lenhg