

Н. М. Калиниченко, В. Н. Пилипенко, В. Г. Ткаченко

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ПОЛИМЕРОВ И ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ВИБРАЦИИ ТРУБОПРОВОДА ПРИ НАЛИЧИИ МЕСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Ранее в работе [1] было показано, что, измеряя вибрации виброизолированного обтекаемого элемента трубопровода и используя концепцию дипольного характера излучения пристенной турбулентности, можно определить спектр звукового давления, генерируемого турбулентным потоком. Настоящая работа идейно связана с [1] и в развитие работы [2] посвящена исследованиям спектров вибрации обтекаемого элемента трубопровода, имеющего местное сопротивление в виде одиночного прямого уступа, при течении полимерных растворов и поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Хорошо известно, что полимерные добавки, снижающие гидродинамическое сопротивление трения, эффективно понижают интегральный уровень пристеночных пульсаций давления [3], причем максимальные эффекты наблюдаются в высокочастотной области. Однако в интересах практики иногда важно исследовать шумы пристенной турбулентности в длинноволновой части спектра. Это позволяет сделать установку, подробное описание которой приведено в [1]. Установка представляет собой гидродинамический канал гравитационного типа, в котором вода из напорного бака попадает в трубопровод, имеющий виброизолированный измерительный участок. Длина трубопровода выбрана таким образом, чтобы во всем реализуемом диапазоне изменений числа Рейнольдса $4 \cdot 10^4 - 3,2 \cdot 10^5$ сохранялись условия равновесной турбулентности. Измерительный участок представляет собой отрезок трубопровода диаметром $8 \cdot 10^{-3}$ м, длиной 10^{-1} м и имеет массу $87 \cdot 10^{-3}$ кг, который соединяется с подводными и отводящими трубами резиновыми муфтами из трехслойной пористой резины, служащими для центровки, виброразвязывания и создания гидравлически гладкого сочленения. По сути дела этот элемент трубопровода являлся волновым фильтром, имеющим достаточную протяженность для выделения из спектра турбулентного шума волн с длинами $\sim \omega/c$, характерными для источников вибрации и звука. Специальными экспериментами определялась эффективность виброразвязывания, которая на частотах выше 200 Гц была не хуже 10 дБ. Вибрации измерялись однокомпонентным миниатюрным вибродатчиком типа 4333 фирмы «Брюль и Кьер», который крепился к рабочему участку на резьбовой шпильке в одном из штатных положений. При работе на малых скоростях напор создавался весом воды; скорость свыше 3,5 м/с создавалась сжатым воздухом, подаваемым в напорный бак. Вибрации исследовались в третьоктавной полосе частот в диапазоне 25–10 000 Гц. Применялся полимерный раствор полиэтиленоксида марки WSR-301 с молекулярной массой $4 \cdot 10^6$ г/моль различной концентрации и добавки поверхностно-активного вещества типа СВ-102 концентрацией 0,5% в присутствии электролита (NaCl) концентрацией 2,0%. На рис. 1 приведены характерные спектры вибрации трубопровода в третьоктавной полосе частот, полученные при скорости течения 3,0 м/с. Уровень «0» децибел соответствует пороговому уровню виброускорений и равен $3 \cdot 10^{-4}$ м/с². Из рис. 1 видно, что граничная частота начала эффекта снижения вибрации для высокочастотной области с увеличением концентрации понижается, тогда как для низкочастотной области порог начала эффекта снижения не зависит от концентрации. Характерно, что даже слабоконцентрированные свежие растворы полиэтиленоксида $C = 1 \cdot 10^{-6}$ приводят к снижению низкочастотных вибраций на 5–6 дБ. По мере старения раствора для частично деструктурированных растворов эффект снижения вибрации отмечается только при концентрациях $C = 10^{-5}$ и более. По мере увеличения концентрации раствора полимера до максимальной $C = 1 \cdot 10^{-3}$ при фиксированной скорости течения в области низких частот имеет место даже повышение интенсивности вибрации до 5–8 дБ [2]. Здесь же на рис. 1 кривой 4 обозначен спектр вибрации при течении воды с добавками СВ-102. Видно, что в этом случае эффект снижения вибрации подобен по величине эффекту, полученному для полиэтиленоксида с той лишь разницей, что практически во всей области исследуемых частот эффект положителен.

Изложенные выше результаты получены при течениях в трубопроводе с гидравлически гладкими стенками, когда выполняется условие $K_s U_* / \nu < 5$, где K_s – высота шероховатости, U_* – динамическая скорость, ν – кинематическая вязкость. Все же реальные трубопроводы имеют конечную шероховатость в виде участков с местным сопротивлением, которыми являются, например, вентили, дроссельные шайбы, задвижки и пр. В наших экспериментах шероховатость моделировалась установкой в рабочий участок трубопровода одиночного прямого уступа высотой $4 \cdot 10^{-4}$ м, удовлетворяющий условию $K_s U_* / \nu \approx 30$, т. е. уступ был полностью «погружен» в область генерации во всем реализуемом диапазоне изменения чисел Рейнольдса. Проведенные измерения вибрации показали, что для течения растворов полимера WSR-301 эффект остался подобен представленному на рис. 1, а для СВ-102 проявилась важная особенность, а именно на частоте $f \sim 5$ кГц, что соответствует струхалевской частоте вихреобразования $Sh_{лок} = K_s f / U_h \sim 0,4$, где f – частота, U_h – скорость обтекания вершины уступа, которая определяется как $U_h = 1,2 U_{cp} (K_s / \delta)^{1/2}$, δ – толщина пограничного слоя, U_{cp} – средняя расходная скорость потока в трубе, имеется макси-

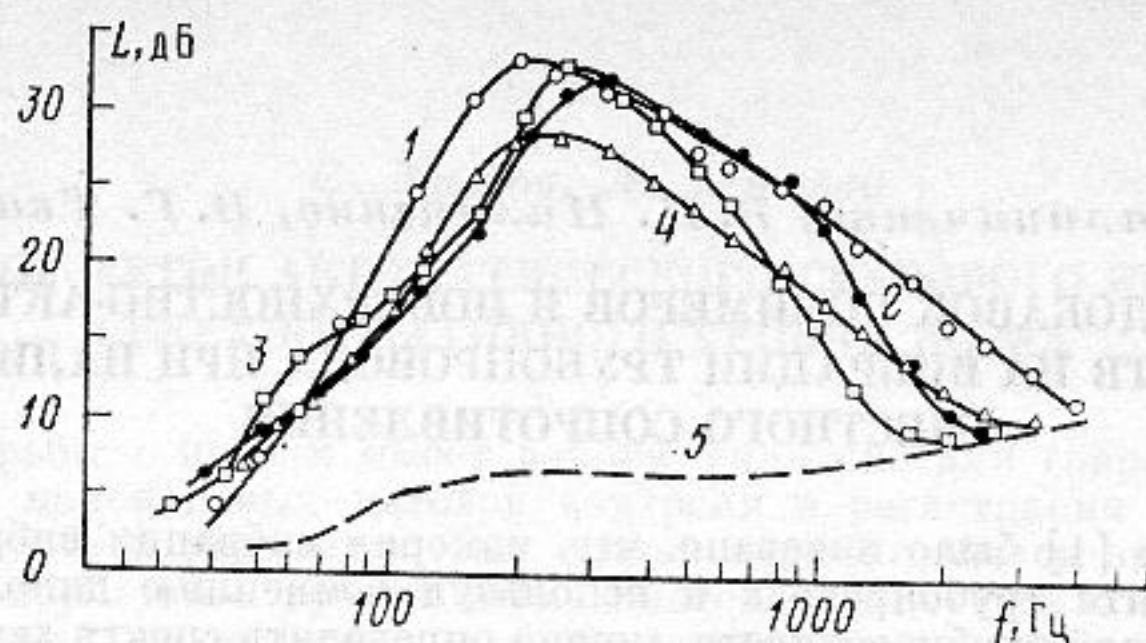


Рис. 1. Спектры вибраций виброизолированного участка трубопровода при течении чистой воды — 1, растворов полиэтиленоксида с концентрациями: 2 — $C=1 \cdot 10^{-6}$, 3 — $C=1,5 \cdot 10^{-5}$, 4 — добавки СВ-102, 5 — электрическая и вибрационная помехи. Скорость потока 3,0 м/с

мум. На рис. 2 представлены результаты измерений вибрации трубопровода с одиночным уступом при течении раствора полиэтиленоксида концентрацией $C=5 \cdot 10^{-5}$ и ПАВ СВ-102 при скорости течения 3 м/с. По оси ординат отложены спектральные надбавки вибрации ΔL , которые записываются как $\Delta L = \ddot{\xi}_{\text{вод}}(\omega) / \ddot{\xi}_{\text{доб}}(\omega)$ дБ, где $\ddot{\xi}_{\text{вод}}(\omega)$ — уровень вибрации в третьоктавной полосе частот при течении чистой воды, $\ddot{\xi}_{\text{доб}}(\omega)$ — то же при течении растворов полимера или ПАВ. Положительное значение ΔL соответствует эффекту снижения, а отрицательное — соответственно увеличению спектральных уровней вибрации. Кривые 1 и 2 соответствуют течению свежего раствора WSR-301 и при повторном использовании того же раствора, уже частично деструктурированного. При последующих прокачках этого же раствора спектральные надбавки стремятся к нулю. Для добавки СВ-102 оказалась характерна

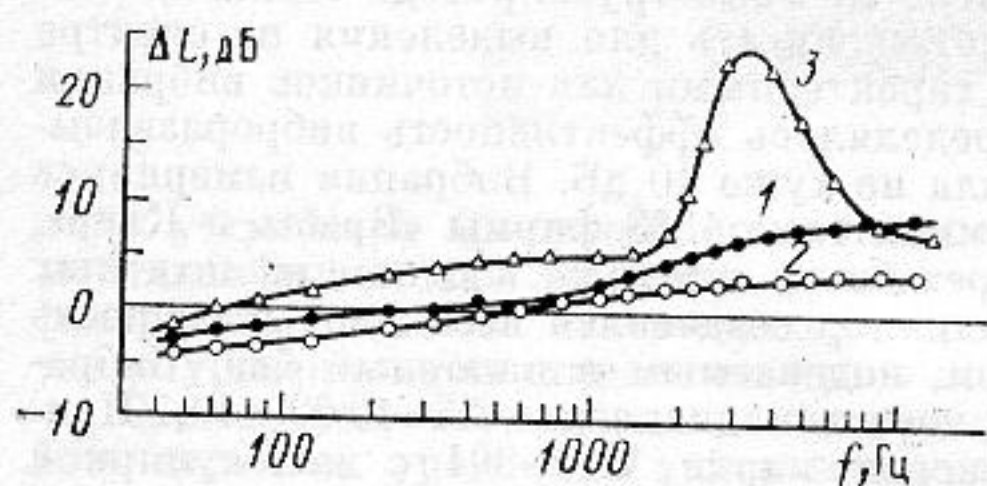


Рис. 2. Эффект снижения вибрации виброизолированного участка трубопровода, имеющего шероховатость при течении: 1 — свежего полимерного раствора концентрацией $C=1,5 \cdot 10^{-5}$, 2 — при повторной прокачке полимерного раствора, 3 — при течении водного раствора ПАВ типа СВ-102. Скорость потока 3,0 м/с

устойчивость к деструкции и при многократных прокачках величина эффекта снижения вибрации (до ~ 25 дБ) и характер кривой 3 оставались неизменными.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. Водные растворы СВ-102 в присутствии электролита представляют собой эмульсию. Под микроскопом хорошо видны эмульсионные капли размером 10–50 мкм. При течении раствора в условиях значительных сдвиговых напряжений у стенки капли измельчаются и можно предположить, что основная часть дополнительной вихревой энергии турбулентного потока в этом случае затрачивается на работу по разрыву капель.

Представленные результаты измерений спектров вибрации элемента трубопровода при течении растворов полимера и ПАВ показывают, что они эффективно воздействуют на турбулентные шумы пограничного слоя в области малых волновых чисел, а для шероховатых границ добавки ПАВ имульсионной природы обладают избирательным характером воздействия на источники вибраций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грешилов Е. М., Миронов М. А., Ткаченко В. Г. Измерение спектра касательных сил, действующих со стороны турбулентного потока на ограниченную обтекаемую поверхность // Акуст. журн. 1988. Т. 34. № 1. С. 60–63.
2. Ткаченко В. Г. Вибрации трубки при турбулентном течении в ней полимерных растворов различной концентрации // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 6. С. 1119–1120.
3. Лямшев Л. М. Акустика управляемого пограничного слоя // Тр. VIII Всесоюз. акуст. конф. М.: Наука, 1973. С. 16–31.

Акустический институт
им. Н. Н. Андреева
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
13.05.89