пульсаций с преобладающей частотой и повышенной мощностью.

Механизм вихреобразования при больших числах Re изучен еще недостаточно полно. Рошко [43] отмечает, что при критическом режиме обтекания цилиндра частота отрыва вихрей непериодична, а в закритическом режиме обтекания отличается резко выраженной периодичностью.

Исследуя обтекание цилиндров при критическом режиме, Тани [40] не обнаружил периодического отделения вихрей при $Re_{кр.1}$, а при $Re_{кр.2}$ наблюдал прерывистый периодический отрыв вихря, что, по его предположению, объясняется наличием ламинарного разделительного подслоя, когда за воссоединением потока с поверхностью следует турбулентное разъединение. В закритическом режиме отделение потока чисто турбулентное. Возможно, что природа отделения вихрей при критическом и закритическом режиме более сложная.

Наиболее значительное упорядочивающее влияние на срыв вихрей оказывает футеровка трубопровода. Футеровка образует острые грани на поверхности трубопровода, которые синхронизируют срыв вихрей в месте расположения футеровочной рейки. Футеровочные рейки будут стабилизировать положение точек отрыва потока или перехода пограничного слоя в турбулентное движение.

При различных числах Рейнольдса (различной ширине кильватера) стабилизирующее влияние будут оказывать рейки, расположенные ближе к точкам отрыва потока или перехода пограничного слоя в турбулентное движение. Вследствие этого срыв вихрей с неподвижного цилиндра должен быть периодичным и для критического режима.

Несимметричное расположение реек (рейки расположены параллельно оси трубопровода) относительно направления скорости потока, очевидно, будет усиливать эффекты асимметрии срыва вихрей (неодновременный срыв вихрей с каждой стороны трубопровода). Если рейки расположены непараллельно оси трубопровода, то упорядочивающего влияния их на частоту срыва вихрей не будет.

Следовательно, футеровка трубопровода «вразбежку» будет нарушать периодичность вихреобразования и уменьшать тем самым воздействие переменной поперечной силы на трубопровод.

Возникнув, колебания трубопровода усиливаются за счет упорядочивающего влияния перемещений на срыв вихрей по длине трубопровода. При критическом режиме влияние перемещения трубопровода на переменную поперечную силу значительно больше, чем при докритическом и закритическом режимах. Наибольшее упорядочивающее влияние перемещений на переменную поперечную силу будет иметь место при резонансе (наибольших амплитудах колебаний).

Механизм колебаний круглых цилиндров различными исследователями объясняется с разных позиций. Если раньше колебания цилиндров рассматривались как вынужденные (исследования проводились в основном при $Re < Re_{кр.1}$), то в последнее время в связи с развитием экспериментальных средств, расширением технических возможностей проведения исследований при $Re > Re_{кр.1}$ и накоплением результатов исследований в критическом диапазоне чисел Рейнольдса отдают предпочтение гипотезе автоколебаний.

Следует отметить, что вынужденные колебания поддерживаются знакопеременной силой, которая существует независимо от них и продолжает действовать даже тогда, когда тело прекращает колебаться, при этом частота знакопеременной силы не зависит от собственной частоты (близости к резонансу).

М. Ф. Барштейн [4] отмечает, что в автоколебательной системе цилиндр — ветровой поток следует различать основную колебательную систему — цилиндр, усилитель колебаний — вихри, возникающие при обтекании цилиндра потоком, ограничитель нарастания колебаний — силы затухания в опоре цилиндра.

Колеблющийся цилиндр — это элемент системы, задающий частоту автоколебаний. Вихри связывают основную колебательную систему с источником энергии — ветровым потоком. При этом колебания цилиндра влияют на образование вихрей, навязывая свой период процессу в обтекающем потоке.

В работе [41] рассматривается роль вихрей в возбуждаемых потоком колебаниях тел. Колебания сооружений под действием вихрей здесь классифицируются на вынужденные, самовозбуждаемые и саморегулируемые. Отмечается, что самовозбуждаемое колебание поддерживается знакопеременной силой, которая порождается самим колебанием и исчезает, когда тело прекращает колебаться. Знакопеременная сила автоматически резонирует с собственной частотой тела, а усиление колебаний будет продолжаться до тех пор, пока энергия, обычно поступаемая от непрерывного источника энергии (потока), будет превышать работу, совершаемую демпфирующими силами.

В случае саморегулируемых колебаний знакопеременная сила существует и когда тело находится в покое, а возникающие движения и колебания тела влияют на частоту знакопеременной силы. Для вынужденных, саморегулируемых и самовозбуждаемых колебаний влияние движения сооружения на гидродинамическое воздействие различно, а именно: не изменяет его — при вынужденных колебаниях, влияет на него и порождает его — при самовозбуждаемых (саморегулируемых) колебаниях.

Переменные гидродинамические силы (ПГС), действующие на неколеблющийся трубопровод, имеют большое значение в возбуждении его колебаний, поэтому необходимо знать ве-