



Общество с ограниченной ответственностью

## «Техническая Диагностика и Мониторинг»

Россия, 198329, Санкт-Петербург, ул. Тамбасова, дом 12, офис 49  
Тел: (812) 934-90-40, (812) 950-15-57, info@tdm-spb.ru, www.tdm-spb.ru



### Мониторинг кавитации и разрывов потока жидкости методом ударных импульсов SPM



### Общая информация

Май 2020

## Практика

Системы мониторинга кавитации и разрывов потоков жидкости на основе метода ударных импульсов SPM были установлены на 2-х российских морских нефтеналивных терминалах. В результате:

- обеспечивается безопасная работа насосов,
- исключены имевшиеся в прежнее время частые случаи работы насосов в недопустимых режимах кавитации и разрывов потоков,
- существенно снижено время перекачки нефтепродуктов за счет работы насосов в режимах максимально возможной безопасной текущей производительности, задаваемых на основе мониторинга появления начальной кавитации и соответствующей регулировки производительности насосов,
- снижен износ насосов и трубопроводов, вызываемый кавитацией и разрывами потоков.

На одном из терминалов применяется ручная регулировка производительности насосов. Используя показания системы мониторинга, оператор дистанционно изменяет производительность насоса с помощью имеющихся средств управления.

На другом терминале применяется автоматическая регулировка производительности насосов. Используя сигналы от системы мониторинга кавитации, система управления автоматически настраивает насосы на максимально возможную безопасную текущую производительность.

## Как это достигается

Мониторинг кавитации жидкости требуется при перекачке самых разнообразных сред с целью оптимизации производительности насосов и энергосбережения, а также с целью предотвращения преждевременного износа насосов, трубопроводов и арматуры.

Мониторинг разрывов потока жидкости особенно необходим при перекачке вязких жидкостей, например, тяжелых сортов топлива, сырой нефти на нефтяных терминалах, магистральных насосных станциях и т.п. При рассогласовании потоков жидкости на входе и на выходе насоса в насосах и трубопроводах могут возникать сильные гидроудары. Подобное рассогласование потоков может происходить из-за того, что скорость потока на входе в насос определяется одними причинами, в то время как скорость потока на выходе из насоса – другими. Учитывая большие размеры перекачивающего насосного оборудования и большие диаметры трубопроводов, такие гидроудары могут приводить к сильной вибрации оборудования и к катастрофическим последствиям, поэтому правильное регулирование производительности насосов и своевременное изменение режимов их работы имеют принципиальное значение.

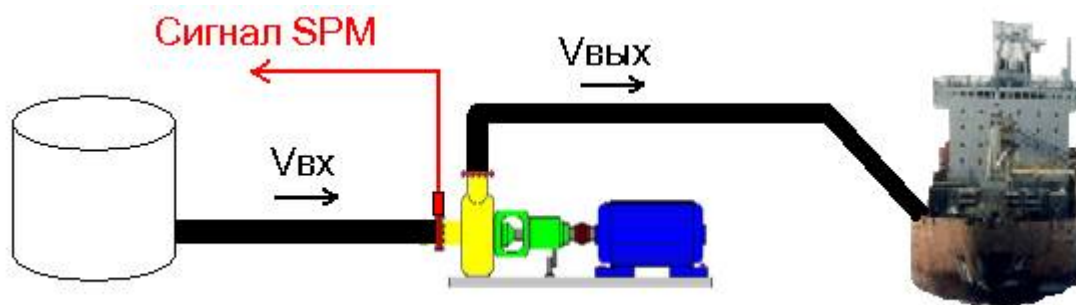
Метод ударных импульсов SPM прекрасно зарекомендовал себя в течение нескольких десятилетий как наиболее эффективный и надежный метод мониторинга состояния подшипников качения многих промышленных механизмов, включая и разнообразные насосы. Кавитация / разрывы сплошности потока перекачиваемой среды всегда рассматриваются как источники помех для сигналов ударных импульсов SPM, измеряемых на корпусах подшипников насосов, поскольку захлопывающиеся газовые каверны / вакуумные полости в жидкости производят ударные волны, распространяющиеся по корпусу насоса. Этот факт позволяет с легкостью использовать метод ударных импульсов SPM и для непосредственного мониторинга кавитации и разрывов потока жидкости, для чего отдельный датчик ударных импульсов SPM устанавливается на всасывающий трубопровод недалеко от насоса или же непосредственно на фланец насоса со стороны всасывания.

Специальные испытания, проведенные на нефтяном терминале, дали результаты, приведенные ниже. Датчик ударных импульсов SPM был установлен на насосе, перекачивающем тяжелые сорта нефтепродуктов из береговой емкости на пришвартованный танкер. Датчик SPM был установлен на фланце приемного патрубка насоса, поэтому он не воспринимал каких-либо ударных импульсов от подшипников. Во время стабильной работы насоса при отсутствии кавитации / разрывов потока жидкости измеряемый сигнал ударных импульсов SPM был равен нулю. Одновременно с ударными импульсами для сравнения измерялся общий уровень вибрации фланца насосного патрубка (среднеквадратичная виброскорость).

Очевидно, что поток жидкости через насос остается стабильным, когда поток на входе в насос равняется потоку на выходе из насоса. Диаметры трубопроводов неизменны, поэтому поток на входе определяется скоростью жидкости на входе в насос  $V_{вх}$ , а поток на выходе – скоростью жидкости на выходе из насоса  $V_{вых}$ . Скорость потока на входе  $V_{вх}$  определяется, при прочих равных условиях, перепадом давления между концами приемной магистрали насоса: атмосферным давлением и столбом жидкости в береговой емкости с одной стороны и разрежением на входе в насос - с другой. Скорость потока на выходе  $V_{вых}$  определяется, при прочих равных условиях, перепадом давления между концами напорной магистрали насоса: напором насоса с одной стороны и атмосферным давлением и столбом жидкости в приемной емкости с другой. Из этого нетрудно заключить, что перепад давлений,двигающий жидкость сквозь приемную магистраль, обычно не превышает 1-2 бар для ровной местности (разрежение на всасе + столб жидкости в береговой емкости), в то время как перепад давлений,двигающий жидкость в напорной магистрали, может быть близок по значению к напору насоса, что **во много раз больше**.

Это и является причиной возникновения кавитации / разрывов потока жидкости на входе в насос в следующих случаях:

- при резком шаговом увеличении производительности регулируемого насоса,
- при достижении насосом некоей производительности, критической для данной трубопроводной системы при данной вязкости перекачиваемой жидкости, когда максимально возможная скорость потока жидкости на входе насоса становится недостаточной для обеспечения требуемой подачи насоса.



При резком шаговом увеличении производительности насоса выходная скорость потока  $V_{вых}$  быстро возрастает, поскольку жидкость в напорной трубе быстро разгоняется высоким напором насоса. В то же время скорость потока на входе  $V_{вх}$  растет медленнее, поскольку в приемной трубе жидкость медленно разгоняется только лишь за счет слегка углубившегося разрежения на входе в насос. Требуется большее время для разгона всей массы жидкости в приемной трубе за счет весьма умеренного повышения перепада давления. В связи с этим в насосе возникает кратковременная нестабильность потока в виде кавитации / разрывов потока, которая четко регистрируется датчиком ударных импульсов SPM на фланце входного патрубка насоса. Регистрируются значения ударных импульсов на уровне примерно 5-10 дБ. Через некоторое время, когда входная скорость потока  $V_{вх}$  достигает новой стабильной величины, кавитация прекращается, а ударные импульсы исчезают. Следует отметить, что в течение всего этого переходного процесса уровень вибрации насоса почти не изменяется и полностью остается в диапазоне значений, характерных для обычной работы насоса, гидроудары также отсутствуют.

При дальнейшем увеличении производительности регулируемого насоса скорость потока на выходе  $V_{вых}$  растет за счет все более возрастающего напора насоса. В то же самое время возможность роста скорости потока на входе  $V_{вх}$  весьма ограничена по причине ограниченного низкого перепада давления (см. выше),двигающего жидкость сквозь приемную трубу. Поэтому возможно достижение насосом некоей производительности, критической для данной гидравлической системы, при которой скорость входного потока достигает своего максимально возможного значения для данных условий. Дальнейшее увеличение производительности насоса приводит к появлению кавитации / разрывам сплошности потока, поскольку насос «пытается» подать в напорную трубу больше жидкости, чем ее реально поступает на вход насоса.

В общем случае ситуация, когда насос «пытается» подать в напорную трубу больше жидкости, чем ее реально поступает на вход насоса, может возникнуть:

- при увеличении производительности регулируемого насоса сверх значения, критического для данной гидравлической системы (сверх возможностей приемной магистрали обеспечить требуемую скорость движения жидкости через приемную трубу на вход в насос),
- при постепенном снижении уровня жидкости в подающей емкости в процессе перекачки (постепенное уменьшение давления подпора, что постепенно снижает скорость движения жидкости через приемную трубу на вход в насос),
- при частичной блокировке / росте гидравлического сопротивления приемной трубы (попадание постороннего предмета в трубу, загрязнение фильтра на стороне всасывания насоса, прикрытие клапана на стороне всасывания насоса и т.п., что снижает скорость движения жидкости через приемную трубу на вход в насос),
- при включении в работу другого насоса (если он берет жидкость из той же подающей трубы, что и уже работающий насос).

В начальный момент, когда кавитация ещё очень слаба и не приводит к какому-либо существенному повышению вибрации или к гидроударам, она уже хорошо регистрируется датчиком ударных импульсов SPM. Регистрируются значения ударных импульсов сначала на уровне примерно 5-10 дБ, затем, по мере роста кавитации, на уровне порядка 20 –25 дБ. В течение всего этого начального процесса общий уровень вибрации насоса хотя и колеблется, но по-прежнему остается в диапазоне значений, характерных для обычной работы насоса. Далее достаточно быстро наступает момент, когда кавитация / разрывы сплошности потока начинают возрастать лавинообразно, при этом могут возникать сильнейшие гидроудары, а вибрация скачкообразно увеличивается до очень высокого и недопустимого уровня.

Таким образом, метод ударных импульсов SPM предоставляет пользователю сигнал, измеренный системой мониторинга, который имеет следующие особенные отличия:

- высокая чувствительность к начальным проявлениям кавитации или разрывов потока,
- плавное возрастание уровня сигнала при возрастании кавитации или разрывов потока,
- выраженная разница уровней сигналов при отсутствии кавитации или разрывов потока и при их наличии.

Именно данные отличия позволяют успешно использовать метод ударных импульсов SPM для очень чувствительного и эффективного управления производительностью насосов и энергосбережением операторами или АСУ на основе мониторинга появления начальной кавитации или разрывов потока, а также для обеспечения надежной защиты насосов.

С наилучшими пожеланиями,

Герман Александрович Барков

Технический директор

тел. (812) 934-90-40

German.Barkov@tdm-spb.ru