МЕХАНИЗМ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ПОТОКАХ ПРИ ИХ ОСТАНОВКЕ МЕЖДУ СТРУКТУРНО-ПРЕОБРАЗУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ

Хаджиматова Мавлуда Мамасалиевна

Джизакский политехнический институт старший преподаватель

Аннотация: В данной работе рассматривается явление гидравлического удара, возникающего при резкой остановке движения газожидкостной смеси в трубопроводе, расположенном между устройствами, преобразующими структуру потока. Особое внимание уделено анализу причин возникновения ударной волны, влиянию параметров потока и геометрии трубопровода на интенсивность гидравлического удара. Проведено моделирование динамики смеси при остановке, что позволило установить критические условия, при которых возникает максимальное давление в системе. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании трубопроводных систем, транспортирующих многофазные среды, с целью минимизации рисков аварийных ситуаций и повышения надежности оборудования.

Ключевые слова:гидравлический удар, газожидкостная смесь, трубопроводная система, ударная волна, динамика потока, многофазная среда, моделирование, максимальное давление, геометрия трубопровода, аварийный риск.

Annotatsiya: Mazkur maqolada oqim strukturasi o‘zgaruvchan qurilmalar orasiga joylashtirilgan quvur ichida gaz-suyuqlik aralashmasi harakati to‘xtatilganda yuzaga keladigan gidravlik zarba hodisasi o‘rganilgan. Zarba to‘lqini yuzaga kelishining sabablari, oqim parametrlari va quvur geometriyasining gidravlik zarba intensivligiga ta’siri alohida tahlil qilingan. Aralashma harakati to‘xtatilgan paytdagi dinamikasi modellashtirilib, tizimda maksimal bosim yuzaga keladigan kritik sharoitlar aniqlangan. Olingan natijalar ko‘p fazali muhitlarni tashiydigan quvurlar tizimini loyihalashda, avariya holatlarining oldini olish va uskunaning ishonchliligini oshirish maqsadida qo‘llanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar:gidravlik zarba, gaz-suyuqlik aralashmasi, quvur tizimi, zarba to‘lqini, oqim dinamikasi, ko‘p fazali muhit, modellashtirish, maksimal bosim, quvur geometriyasi, avariya xavfi.

Annotation: This study examines the phenomenon of hydraulic shock (water hammer) that occurs when the flow of a gas-liquid mixture is abruptly stopped in a pipeline located between devices that alter the flow structure. Special attention is given to analyzing the causes of shock wave formation and the influence of flow parameters and pipeline geometry on the intensity of the hydraulic impact. The dynamics of the mixture during shutdown are simulated to determine the critical

ISSN 3030-3907

conditions under which maximum pressure develops in the system. The results of this research can be used in the design of pipeline systems transporting multiphase fluids, in order to reduce the risk of emergency situations and improve equipment reliability.

Keywords:hydraulic shock, gas-liquid mixture, pipeline system, shock wave, flow dynamics, multiphase flow, modeling, maximum pressure, pipeline geometry, accident risk.

Введение

В работах [1,2] рассмотрены вопросы описания процессов, происходящих в насоснокомпрессорной трубе (НКТ) при наличии в них устройств преобразующих структуру потока, составлено уравнение Бернулли для нестационарного движения газожидкостной смеси и решая ее, определены расчетные формулы для скорости смеси, давления и времени разгона в зависимости от параметров устройств.

В данной работе, учитывая сжимаемость смеси и стенок трубопровода, устанавливаются соотношения для оценки максимального повышения значения давления в НКТ, а так же время прохождения ударной волной удвоенного расстояния между устройствами и времени закрытия горловины патрубка.

Рассмотрим процессы, возникающие при внезапном полном или частичном закрытии горловины патрубка с фланцем. Закрытие горловины патрубка происходит после залпового выброса накопившегося газа из устройства и принятия патрубком верхнего положения.

В случае тех же допущений, которые были приняты при рассмотрении процесса разгона [1,2], т.е. не сжимаемости жидкости и не деформируемости стенок трубы, из уравнения неустановившегося движения в момент закрытия $\upsilon_{см} = 0$, следовательно, $h_c = 0$ следует

$$\frac{P}{\gamma_{см}} = H + \frac{P_B}{\gamma_{см}} - \frac{l}{g}\frac{d\upsilon_{см}}{dt}.$$

Остановка потока означает, что за бесконечно малый промежуток времени скорость от конечного значения $\upsilon_{см}$ уменьшилась до нуля, т.е.

$$\frac{d\upsilon_{см}}{dt} \to -\infty \qquad \text{откуда} \qquad \frac{P}{\gamma_{см}} \to +\infty.$$

Откуда следует, что в случае несжимаемой жидкости и жесткой трубы при мгновенном закрытии горловины патрубка процесс торможения частиц смеси распространяется с бесконечной скоростью и давление повышается до бесконечности, что не соответствует естественным процессам. Поэтому при

ISSN 3030-3907

рассмотрении процесса остановки смеси в промежутке расстояния между устройствами необходим учет сжимаемости смеси и деформируемости стенок трубы.

Если до остановки смесь двигалась со скоростью $\upsilon_{см}$, то в момент закрытия частицы смеси, находящиеся вблизи верхнего конца патрубка, останавливаются, а жидкость в НКТ между устройствами будет продолжать двигаться вперед по инерции. Движущиеся частицы, прижимаясь к частицам, останавливающимся у верхнего конца патрубка, вызовут повышение давления, благодаря чему стенки патрубка и перевернутого стакана расширяются. Этот процесс продолжается до некоторого значения давления, после которого приближающиеся к задвижке частицы останавливаются и процесс торможения с некоторой скоростью распространяется в обратном направлении. Процессы, происходящие при внезапном изменении скорости движения жидкости, называется гидравлическим ударом, а распространение этого процесса по трубопроводу называется распространением волны гидравлического удара.

При закрытии горловины патрубка остатком сжатого газа в области 5 происходит гидравлический удар, давление вблизи горловины патрубка и в объеме 5 повышается и положительная волна со скоростью а распространяется вниз к нижнему устройству, если рассматривается самое нижнее устройство, то волна гидравлического удара движется к забою. Когда волна распространяется в сторону нижнего устройства давление в НКТ повышается, при достижении волны нижнего устройства (или забоя) давление в них тоже повышается. При уравновешивании давления жидкость расширяется, стенки трубопровода сжимаются до своих первоначальных значений, имевших до гидравлического удара и высвободившийся при этом объем жидкости двигается к нижнему устройству (забою) с такой же скоростью, с какой происходит гидравлический удар. Возникает отрицательная волна, которая распространяется от нижнего устройства (забоя) к верхнему устройству. Так как патрубок закрыт, происходит гидравлический удар. Начинается новый цикл, повторяющийся от первоначального положения.

Если бы в системе не было гидравлических сопротивлений и газовой фазы в жидкости, первый цикл все время тождественно повторялся бы. Однако, за счет сопротивлений и гашений ударных волн в газовой фазе в каждом последующем цикле давление и скорость становится меньше, чем в предыдущем и в конце концов процесс затухает.

ISSN 3030-3907

Согласно работам [3,4] скорость распространения волны гидравлического удара определяется по равенству

$$a = \frac{a_0}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta}\frac{K}{E}}}, \qquad (1)$$

а повышение давления при гидравлическом ударе

$$\frac{\Delta P}{\gamma_{см}} = \frac{a\ \Delta\upsilon}{g}, \qquad (2)$$

Где а - скорость распространения волны гидравлического удара; a_0 - скорость распространения звуковых волн в неограниченной жидкой среде; d - внутренний диаметр трубопровода; δ - толщина стенок трубопровода; К - объемный модуль упругости жидкости; Е - модуль упругости материала стенок трубопровода; ΔР - повышение давления ; Δυ - величина уменьшения скорости в трубопроводе вызывающая удар; $\gamma_{см}$ - удельный вес смеси.

Если скорость распространения звуковых волн в жидкости, содержащей умеренное объемное содержание газа при нормальном атмосферном давлении, принять равной $a_0 = 1000$ м/сек, объемный модуль упругости $K = 2\cdot10^3$ кГ/см^2, модуль упругости стальных труб $E = 2\cdot10^6$ кГ/см^2, а $\frac{d}{\delta} = 100$, то для скорости гидравлического удара получим

$$a = \frac{1000}{\sqrt{1 + 100\frac{2\cdot10^3}{2\cdot10^6}}} = \frac{1000}{\sqrt{1{,}1}} = 953{,}47 \text{ м/сек}.$$

Повышение давления при гидравлическом ударе будет

$$\frac{\Delta P}{\gamma_{см}} = \frac{953{,}47}{10}\Delta\upsilon \approx 95{,}4\Delta\upsilon.$$

Откуда следует, что при изменении скорости потока на 1 м/сек приводит к повышению давления на 95,4 м.

Таким образом, учет ничтожно малых деформаций жидкости и стенок трубопровода раскрывает истинную суть гидравлического удара и создает возможность определить действительные значения скорости распространения волны и повышения давления в системе.

При мгновенном открытии щелей 3 перевернутого стакана, избыточное давление мгновенно падает от значения Н статического до некоторого минимального. Благодаря чему диаметр трубы уменьшается,

ISSN 3030-3907

жидкость расширяется и выделенный в результате этих деформаций объем жидкости вытекает из устройства в НКТ с некоторой скоростью U, т.е. возникает отрицательная волна удара, движущаяся вниз со скоростью a.

Понижение давления, вызывающее эту волну равна $\frac{\Delta P}{\gamma_{см}} = H$. Так как изменение давления в зависимости от изменения скорости имеет вид

$$\frac{\Delta P}{\gamma_{см}} = \frac{a\,\Delta\upsilon}{g},$$

подставив сюда $\Delta\upsilon = U$ и учитывая предыдущее уравнение, получим

$$U = \frac{gH}{a}.$$

Это изменение скорости движения жидкости, вызываемое мгновенным изменением давления на величину H и называется волновым изменением скорости.

При рассмотрении гидравлических ударов мы считали, что процесс закрытия горловины патрубка происходит мгновенно. Но в действительности процесс поднятия патрубка в верхнее положение в стакане происходит за конечное время в связи с чем горловина патрубка закрывается не мгновенно.

При движении смеси от нижнего устройства к верхнему если скорость равна $\upsilon_{см}$, то за определенный промежуток времени Δt патрубок поднимется и через горловину его будет истекать жидкость со скоростью, отличной от $\upsilon_{см}$ на $\Delta\upsilon_{см}$. Так как скорость движения смеси в устройстве изменится, то произойдёт гидравлический удар и положительная волна, повышающая давление на $\frac{a\,\Delta\upsilon_{см}}{g}$ распространится в сторону нижнего устройства. Спустя некоторое время Δt патрубок с фланцем поднимется следовательно на Δl и закроется на некоторую величину, вызывая дополнительное уменьшение скорости на $\Delta\upsilon_{см}$. Изменение скорости на $\Delta\upsilon_{см}$ вызовет новый гидравлический удар и повышение давления на $\frac{a\,\Delta\upsilon_{см}}{g}$. Новая положительная волна тоже распространится в направлении нижнего устройства с отставанием от первой волны на расстояние $a\Delta t$, на рисунке 10 линия 2-2. Следующее поднятие и закрытие части горловины патрубка создает третью волну, которая при движении в сторону нижнего

ISSN 3030-3907

устройства отстает от второй на aΔt, следовательно от первой на 2aΔt, прямая 3-3. Таким образом, при последовательном передвижении патрубка будут создаваться новые волны и все они отстают от предыдущего на aΔt.

Первая волна когда дойдет до нижнего устройства, оттуда вернется первая отрицательная волна, уничтожающая первое повышение давления, за ней с отставанием на aΔt вернется вторая отрицательная волна и т.д.

Когда горловина патрубка полностью закроется, а первая волна еще не успела до нее дойти, вблизи горловины движение смеси полностью остановлено, т.е. вызвано изменение скорости на полное ее значение и, следовательно, давление в НКТ между двумя устройствами или в некоторой его части повысится до максимально возможного значения. В данном случае гидравлический удар будет называться прямым.

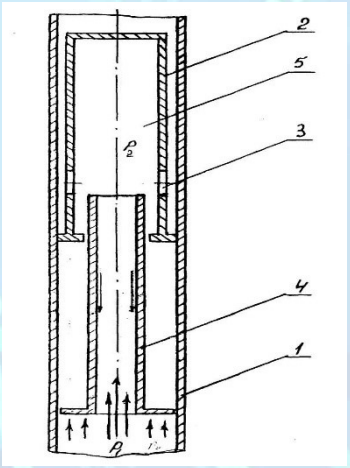
Этот случай характеризуется тем, что время прохождения ударной волны от верхнего устройства до нижнего и обратно больше времени полного закрытия

P_1 - давление, действующее на патрубок с фланцем 4; P_2 - давление,

образовавшееся в момент завершения залпового выброса газа $P_1 >> P_2$

Рисунок 1 - Устройство в момент завершения залпового выброса

газа из газонакопительной полости



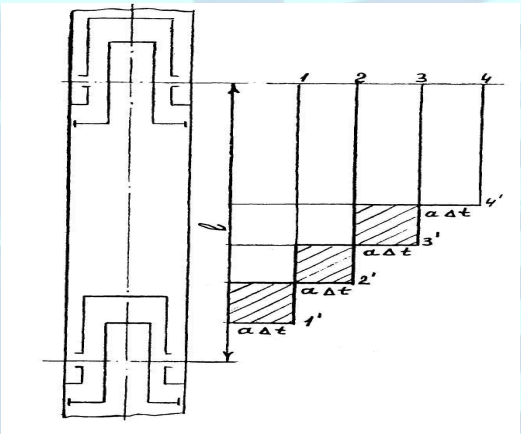


Рисунок 2 - Распределение волн гидравлического удара

между устройствами при постепенном закрытии

горловины патрубка с дискретными порциями

горловины патрубка, т.е. времени поднятия патрубка с нижнего до верхнего его положения. Поэтому при размещении устройства в НКТ расстояние между ними должно удовлетворять следующему неравенству

$$\frac{2l}{a} > t_з,$$

ISSN 3030-3907

Где $t_з$ - время полного закрытия горловины патрубка; это время равно времени поднятия патрубка на верхнее ее положение; l - расстояние между устройствами или между первым устройством и забоем.

Это неравенство является критерием прямого удара

$$\frac{2l}{at_з} > 1 .$$

При достижении отрицательной волны патрубка верхнего устройства до ее полного закрытия, давление в ней не может повыситься до возможно высоких значений. В этом случае гидравлический удар называется не прямым, а критерием его является

$$t_з > \frac{2l}{a}.$$

Из полученных результатов следует, что для создания больших значений давлений в НКТ между устройствами нужно увеличить расстояние, скорость смеси и уменьшить время полного закрытия, т.е. увеличить скорость подъема патрубка с фланцем. Если патрубок будет иметь большой вес, то это увеличит время полного закрытия и может предотвратить гидравлический удар и повышение давления.

ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хажиматова М. М. Некоторые гидродинамические эффекты, проявляемые при пузырьковом и снарядном режимах течения газожидкостной смеси //Science and Education. – 2021. – Т. 2. – №. 4. – С. 257-264.

2. А.Мирзаев, Хажиматова М , Многофазные среды со сложной реологией и их механические модели //XI всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики Казань, 20–24 августа 2015 года

3. Такабоев Қ. Ў., Хажиматова М. М. Хўжалик чиқинди сувлари, улардан фойдаланиш самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида //Science and Education. – 2021. – Т. 2. – №. 6. – С. 325-336.

4. Хажиматова М. М., Саттаров А. Экологик таълимни ривожлантиришда инновация жараёнлари //Me′ morchilik va qurilish muammolari. – 2019. – Т. 48.

5. Rakhmatullaevich, S. S. (2022). Analysis of the methodology for controlling heat loss in buildings. International journal of research in commerce, it, engineering and social sciences issn: 2349-7793 impact factor:6.876,16(07),15-19. https://gejournal.net/index.php/ijrciess/article

6. Хажиматова М. М. Сооружение для забора подземных вод //Символ науки. – 2021. – №. 4. – С. 21-24.

ISSN 3030-3907

7. Мусаев Ш. М. Методы гидравлического расчета оросительных лотков типа лк-60, лк-80 и лк-100 из полиэфирной смолы //Theoretical aspects in the formation of pedagogical sciences. – 2022. – Т. 1. – №. 5. – С. 190-195.
8. Махмудова Д. Э., Алиев М. К., Мусаев Ш. М. Анализ аварийных ситуаций на сетях водоотведения города Ташкента //Science and Education. – 2022. – Т. 3. – №. 12. – С. 411-421.
9. Alibekova, N.N. (2021) reliability and cost - effektiveness of polymer pipes. Euroasiaconference. Com.evro science: internasional conference on soial and huanitarian researc,hosted.germany.

ISSN 3030-3907