следовательность $\{a_k\}$ ряд $\sum a_k \xi_{n_k}$ сходится в $L_p(\Omega, X)$ и почти наверное? Для скалярных случайных величин этот вопрос был исследован в работе [1]. В бесконечномерном случае ряд $\sum a_k \xi_{n_k}$ можно составлять по-разному: выбирать X-значные случайные элементы ξ_{n_k} и умножать их на действительные числа a_k или брать скалярные случайные величины ξ_{n_k} и умножать их на элементы a_k банахова пространства X.

Говорят, что банахово пространство X является G_α - пространством для некоторого $\alpha \in (0,1]$, если существуют отображение $G : X \to X^*$ и константа $A > 0$ со свойствами:

1) $\|G(x)\| = \|x\|^\alpha$
2) $\langle G(x), x\rangle = \|x\|^{1+\alpha}$
3) $\|G(x) - G(y)\| \le A\|x - y\|$ для любых $x, y \in X$.

Примерами G_α-пространств могут служить l_p -пространства, когда $1 < p < \infty$. Нами доказаны:

Теорема1. Банахово пространство X является G_α - пространством тогда и только тогда, когда существует отображение $G : X \to X^*$ и константа $A > 0$ такие, что для произвольных $x, y \in X$ выполняется неравенство:

$$\|x + y\|^{1+\alpha} \le \|x\|^{1+\alpha} + A\|y\|^{1+\alpha} + (1+\alpha)\langle G(x), y\rangle.$$

Теорема 2. Пусть $\{\xi_n\}$ - последовательность случайных элементов со значениями в G_α - пространстве X. Если $\sup_n E\|\xi_n\|^{1+\alpha} < \infty$, то существуют последовательность натуральных чисел $n_1 < n_2 < \ldots$ и случайный элемент $\eta \in L_{1+\alpha}(\Omega, X)$, такие, что ряд $\sum a_k(\xi_{n_k} - \eta)$ сходится в $L_{1+\alpha}(\Omega, X)$ и почти наверное, как только $\sum |a_n|^{1+\alpha} < \infty$.

Теорема 3. Пусть X является G_α - пространством, $a_k \in X, k = 1,2,\ldots, \{\xi_n\}$ - последовательность случайных величин, такая, что $\sup_n E|\xi_n|^{1+\alpha} < \infty$. Тогда найдутся последовательность натуральных чисел $n_1 < n_2 < \ldots$ и случайная величина $\eta \in L_{1+\alpha}(\Omega, R)$, такие, что если $\sum \|a_k\|^{1+\alpha} < \infty$, то ряд $\sum a_k(\xi_{n_k} - \eta)$ сходится в $L_{1+\alpha}(\Omega, X)$ и почти наверное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гапошкин В.Ф. Сходимость и предельные теоремы для подпоследовательностей случайных величин // Теория вероятности и её применение. - 1972. - Т.17. - №3. - С.401-423.

МЕЖФАЗНЫЙ МАССООБМЕН В ВОЛНАХ РАЗРЕЖЕНИЯ И СЖАТИЯ В ПАРОВОДЯНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ СРЕДЕ

Кутушев А.Г., Мамытов А.М.
Тюменский государственный архитектурно-строительный университет
Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН
Тюмень, Россия

Целью настоящей работы является установление закономерностей влияния процессов межфазного тепломассообмена на распространение и последующее отражение от свободной поверхности волны разрежения в равновесной пароводяной смеси. Исследование проводится в рамках методов и уравнений механики многофазных дисперсных сред. Конкретно используется модель односкоростной, двухтемпературной, с двумя давлениями смеси несжимаемой жидкости и паровых пузырьков. В соответствии с этой мо-

делью принимаются следующие предположения: пузырьки сферические, а смесь-локально-монодисперсная; отсутствуют процессы дробления, столкновения, коагуляции и зарождения пузырьков; скорости макроскопического движения фаз совпадают; несущая фаза представляет собой идеальную несжимаемую жидкость с постоянной температурой; пар внутри пузырьков описывается моделью идеального калорически-совершенного газа; эффекты вязкости и теплопроводности существенны лишь в процессах межфазного взаимодействия; теплофизические свойства фаз не зависят от температуры и давления; внешние массовые силы пренебрежимо малы.

Для корректного описания динамического, теплового и массового взаимодействия жидкости с пузырьками пара дополнительно привлекаются следующие предположения: для радиального движения пузырьков справедливо обобщенное уравнение Рэлея-Ламба; давление, плотность и температура внутри пузырьков однородны и удовлетворяют уравнению Клапейрона-Клаузиуса; интенсивность межфазного массообмена (конденсации пара или испарения жидкости) определяется разностью тепловых потоков на поверхности пузырьков со стороны паровой и жидкой фаз; поле температуры внутри пузырьков со стороны жидкой фазы является сферически-симметричным.

На основе системы дифференциальных уравнений одномерного нестационарного движения парожидкостной пузырьковой смеси, записанной в лагранжевых переменных, рассматривается следующая задача: имеется вертикальная труба. В нижней части этой трубы расположен непроницаемый поршень. Над поршнем в трубе находится слой равновесной парожидкостной пузырьковой смеси при давлении 1 бар и температуре 373 К. Пространство над слоем двухфазной пузырьковой смеси заполнено атмосферным воздухом. В начальный момент времени поршень выдвигается вниз, так, что давление на нем поддерживается постоянным и меньшим по величине, чем атмосферное давление. Ставится цель изучить процессы формирования и последующего взаимодействия со свободной поверхностью волны разрежения в пузырьковой смеси.

Сформулированная задача решалась численно с использованием методов Эйлера-Коши и прогонки. Расчеты выполнялись для смеси воды и водяного пара. Начальный радиус пузырьков полагался равным 1мм, исходное объемное паросодержание принималось равным 1%. Высота столба пузырьковой смеси составляла значение 1м. Давление на поршне, постоянное во все моменты волнового движения, равно 0.95 бар.

Расчетным путем получены профили параметров фаз и смеси в целом в формирующейся волне разрежения и в волне сжатия, образующейся на свободной границе после прихода туда волны разрежения. Кроме того, представлены расчетные «осциллограммы» параметров фаз и смеси в трех характерных сечениях трубы: непосредственно у поверхности поршня, в середине слоя пузырьковой смеси и в окрестности свободной поверхности. Вычисления проведены для двух случаев движения, соответствующих наличию ($j\neq0$) и отсутствию ($j=0$) межфазного массообмена.

Данные численного эксперимента свидетельствуют, что при выдвигании поршня в трубе за образующейся волной разрежения в пузырьковой смеси, а также в волне сжатия, формирующейся в процессе отражения волны разрежения от свободной поверхности, имеет место межфазный массообмен в форме испарения жидкости в пузырьки ($j\geq0$). Массообмен фаз весьма заметно влияет на структуры волн разрежения и сжатия в пузырьковых жидкостях. В частности, установлено, что при наличии испарения жидкости в пузырьки ($j\neq0$) скорости волн заметно меньше аналогичных величин в смеси с «замороженным» массообменом ($j=0$). Очень существенное различие в изменениях радиусов пузырьков и объемных паросодержаний наблюдается в случаях $j\neq0$ и $j=0$. Так при $j>0$ и $j=0$ относительные изменения радиуса пузырьков на моменты движения ~10мс соответственно составляют величины ~10% и 1%. Можно отметить также, что при наличии массообмена фаз в пузырьковой смеси ($j\neq0$) наблюдаются монотонные структуры волн разрежения и сжатия. В идентичных же смесях без фазовых превращений имеют место осцилляционные структуры волн разрежения и сжатия.

При $j>0$ в каждый текущий момент волнового движения величина паросодержания наибольшая у поверхности подвижного поршня, а наименьшая – у свободной поверхности. Рост паросодержания у поршня и в произвольном сечении столба пузырьковой жидкости со временем носит монотонный характер. В смеси с $j=0$ распределение паросодержания в пространстве имеет немонотонный характер.

Таким образом, в результате выполненного исследования установлено, что на структуры волн сжатия и разрежения в пузырьковой смеси заметное влияние оказывает процесс испарения жидкости в пузырьки. Показано, что реактивная сила из-за межфазного массообмена препятствует развитию мелкомасштабного пульсационного движения пузырьков.