

## КЕЙС ТЕХНОЛОГИИ В ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА»

*Никифоров А.О., Колосова М.В.*

*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, г. Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** инновационные технологии обучения, кейс-метод, механика жидкости и газа.  
**Аннотация.** В статье рассматривается возможность применения кейс технологий в преподавании дисциплины «Механика жидкости и газа» в вузе. Показана эта технология на примере движения волокнистой суспензии по трубопроводу: описана конкретная ситуация; дана вспомогательная информация, необходимая для анализа ситуации и задание к кейсу.

## CASE TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF THE DISCIPLINE OF "LIQUID AND GAS MECHANICS"

*Nikiforov A.O., Kolosova M.V.*

*St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design, St. Petersburg*

**Keywords:** innovative learning technologies, case method, fluid and gas mechanics.

**Abstract.** The article discusses the possibility of using case technologies in teaching the discipline "fluid Mechanics" in higher education. This technology is shown on the example of the movement of a fibrous suspension through a pipeline: a specific situation is described; auxiliary information necessary for analyzing the situation and the task for the case is given.

Кейс – разновидность производственной или экономической ситуации, специально сформулированной преподавателем для анализа, решения, оценки обучающимися. В понятие кейс технологии входит порядок рассмотрения, анализ, поиск решения, выработка экспертной оценки, опирающейся на определенные критерии. Характерной особенностью кейс технологии является ее ориентация на оценочные характеристики.

Кейс – единый информационный комплекс, состоящий, как правило, из трех основных частей (каждая из которых также может быть структурирована):

- описание конкретной ситуации;
- вспомогательная информация, необходимая для анализа ситуации;
- задания к кейсу [1].

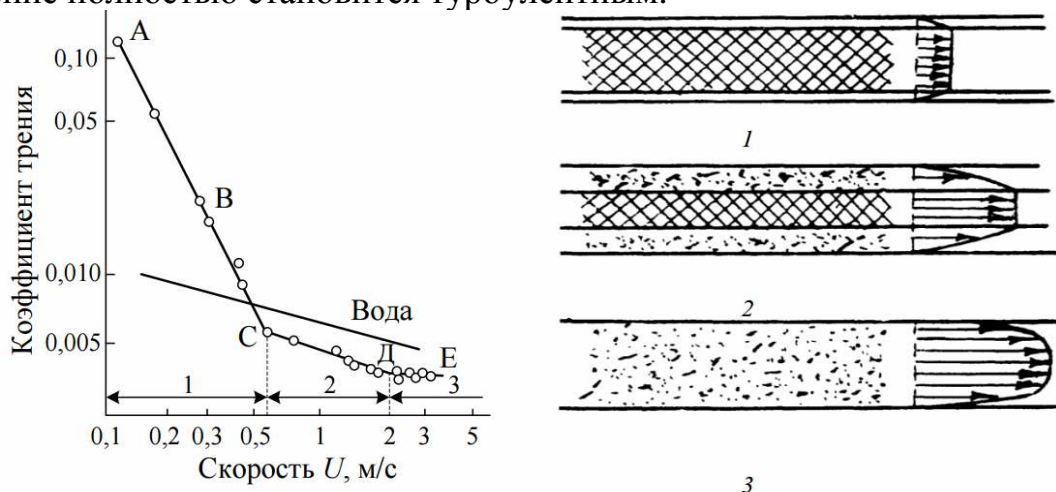
Рассмотрим возможность использования этой технологии на примере движения волокнистой суспензии по трубопроводу [2].

Условия оптимизации непрерывного процесса формования с целью получения бумажного полотна однородной структуры с требуемыми физико-механическими и оптическими свойствами определяются условиями движения бумажных масс в массонапускных системах и начальной зоне формования.

На рисунке 1 видно, что кривая течения суспензии имеет ряд точек, определяющих характерные особенности внутренней структуры потока при различных скоростях движения суспензии. В соответствии с этими точками выделяют три режима течения, отмеченных цифрами 1, 2 и 3. Первый режим – ламинарное или стержневое течение (участков А-В-С). На участке В-С у стенок трубы наблюдается слой чистой воды с ламинарным течением, не содержащий

волокон. Ядро потока образует стержень из переплетенных волокон, не имеющих движения относительно друг друга. Градиент скорости наблюдается только в слое чистой воды, при этом максимальная толщина слоя наблюдается у точки С. При очень низких скоростях движения (участок АВ), когда слой воды очень тонкий, наблюдается трение отдельных волокон о стенки трубы и друг о друга, что приводит к скатыванию хлопьев по стенке и соответствующему увеличению коэффициента трения. Второй режим – смешанное течение (участок СД). В этом случае в пристенном слое течение становится нестабильным и преобладает турбулентность. Турбулентные вихри отрывают волокна от основного стержня, находящегося по-прежнему в ядре потока.

Таким образом, слой чистой воды у стенок исчезает, превращаясь в суспензию, а в центре потока движется стержень из переплетенных волокон, имеющий, однако, меньший диаметр, чем в случае ламинарного течения. Третий режим – турбулентное течение (участок от точки Д и далее с повышением скорости). В этом случае турбулентные вихри разрушают волокнистый стержень, и движение полностью становится турбулентным.



1-стержень из крупных флоккул движется внутри трубы, скользя по слою чистой воды; 2-стержень сжимается, прослойка чистой воды у стенки канала растет; 3- стержень из более мелких флоккул, который заполняет все сечения канала, поглощая прослойку чистой воды у стенок

Рис. 1. Результаты экспериментальных исследований движения суспензии сульфитной целлюлозы

Величина коэффициента трения практически становится постоянной независимо от скорости потока. Отмеченные особенности характера движения волокнистых суспензий необходимо учитывать при проектировании подводных массопроводов и конкретных проточных частей напорных ящиков. Из рисунка 1 видно, что при достаточно низких скоростях движения коэффициент трения для волокнистой суспензии значительно выше, чем для чистой воды, и, следовательно, расчетные формулы гидравлики ньютоновских жидкостей будут неприемлемы в данном случае. В неподвижном состоянии волокнистая суспензия представляет собой двухфазную среду с явно выраженными составляющими. Волокна образуют крупные соединения (коагуляции), между которыми находятся прослойки чистой воды. Коагуляции волокон стоят в виде пробок, плотно прилегающих к стенкам трубы. Образуется сцепление волокон со стенками каналов. Чтобы заставить начать двигаться такую суспензию, необходимо приложить начальный напор. В

начале движения коагуляции волокон отрываются от стенок, вытягиваются в направлении потока и разбиваются на крупные флоккулы, которые медленно идут по потоку, заполняя все сечение канала. Прослойка чистой воды не наблюдается, а поток напоминает клубы дыма. Виден явно выраженный стержневой поток. Дальнейшее увеличение скорости вызывает появление прослойки чистой воды у стенок канала. Стержень из крупных волокон уплотняется в радиальном направлении. Между стержнем и слоем чистой воды возникает резкий градиент скоростей. Под действием градиента скорости на границе стержня отдельные волокна отрываются от основного стержня и попадают в слой чистой воды. Здесь они приобретают вращательное движение под действием градиента скоростей в самом слое чистой воды. В итоге поток суспензии при этом режиме движения представляет собой явно выраженную двухфазную среду. Стержень из крупных флоккул движется внутри трубы, скользя по слою чистой воды, в которой перекатываются автономными шариками вышеупомянутые отдельные волокна, вырванные из стержня. С увеличением скорости потока возрастает давление со стороны слоя чистой воды на стержень. Стержень сжимается, прослойка чистой воды у стенки канала растет (рис. 1, эпюра 2). Боковое сжатие стержня вызывает увеличение сдвиговых усилий внутри стержня, кроме того, с увеличением скорости возрастают силы трения стержня о слой чистой воды. В итоге внутри стержня начинают интенсивно развиваться силы, действующие как поперек, так и вдоль стержня. Эти силы приводят к разрушению наиболее слабых связей внутри крупных флоккул. В результате стержень из крупных флоккул разрушается и образуется стержень из более мелких флоккул, который заполняет все сечения канала, поглощая прослойку чистой воды у стенок (рис.1, эпюра 3). Одним из наиболее важных факторов, влияющих на формование бумаги, является степень однородности суспензии волокон в воде.

В учебно-практическом пособии для студентов представлен сборник кейсов по дисциплине «Механики жидкости и газа» [3]. В рамках учебного пособия рассмотрены конкретные ситуации – кейсы по темам: движение жидкости в трубопроводе, особенности движения волокнистой суспензии и газожидкостной системы. Также представлены примеры решения типовых задач и задачи для самостоятельной работы студентов.

### Список литературы

1. Архипова Н.В. Образовательная технология кейс-стади как способ реализации ФГОС ВПО: методическое пособие для слушателей факультетов повышения квалификации преподавателей / Н.В. Архипова, В.С. Кобызев, В.Е. Медведев; Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана. – М.: Спутник+, 2014. – 176 с.
2. Мидуков Н.П. Гидродинамика волокнистых суспензий: учеб. пособие / Н.П. Мидуков, В.С. Куров. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 88 с.
3. Бутко Г.Ю. Механика жидкости и газа. Сборник кейсов: учеб. пособие / Г.Ю. Бутко, А.О. Никифоров. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. – 77 с.

### Сведения об авторах:

*Никифоров Аркадий Олегович* – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой процессы и аппараты химической технологии, СПбГТУПТД, Санкт-Петербург;

*Колосова Марина Владимировна* – заведующая лабораторией кафедры процессов и аппаратов химической технологии, СПбГТУПТД, Санкт-Петербург.