

5. Welge H. J. A Simplified method for computing oil recovery by gas or water drive. *Petroleum Trans.*, AIME, 1952, vol. 195.
6. Lee E. H., Fayers F. J. The use of method of characteristics in determining boundary conditions for problems in reservoir analysis. *Petroleum Trans.*, AIME, 1959, vol. 216.
7. Sheldon J. W., Cardwell W. T. Jr. One — Dimensional Incompressible, Noncapillary, Two — Phase Fluid Flow in a Porous Media. *Petroleum Trans.*, AIME, 1959, vol. 216.
8. Cardwell W. T. Jr. The meaning of the triple value in noncapillary Buckley — Leverett theory. *Petroleum Trans.*, AIME, 1959, vol. 216.
9. Баренблатт Г. И. О некоторых неустановившихся движениях жидкости и газа в пористой среде. *ПММ*, 1952, т. 16, вып. 1.
10. Розенберг М. Д. Об одной нелинейной системе дифференциальных уравнений в частных производных, имеющей приложение в теории фильтрации. *Докл. АН СССР*, 1953, т. 39, № 2.
11. Марон В. И., Рохлин И. М., Филинов М. В. Задача Бакли — Ливеретта для сжимаемой жидкости. III Всес. съезд по теор. и прикл. механ. (Аннот. докл.), М., 1968.
12. Чарный И. А. Подземная гидрогазодинамика. М., Гостехиздат, 1963.

УДК 531/534.061.3

### ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ АН СССР СЕМИНАРЫ<sup>1</sup>

**Общий семинар Института проблем механики АН СССР под руководством А. Ю. Ишлинского**

Семьдесят третье заседание 1 X 1970. **Л. В. Альшулер** (Москва). *Сильные ударные волны в упруго-пластических и разрушающихся телах\**.

Семьдесят четвертое заседание 15 X 1970. **В. А. Романов** (Москва). *Устойчивость плоского течения Куэтта*.

Результаты исследований устойчивости ламинарного течения Куэтта вязкой жидкости между двумя параллельными плоскостями изображаются на плоскости  $R, \alpha$ , где  $R$  — число Рейнольдса (абсцисса),  $\alpha$  — волновое число по отношению к продольной координате (ордината). Раньше было доказано последовательно разными авторами, что устойчивость имеет место: 1) для области над кривой  $R \sim \alpha^2$ , 2) области под кривой  $\alpha R \approx c_1$ , 3) над кривой  $\alpha R = c_2 > c_1$ , 4) внутри некоторой кривой типа параболы с осью, параллельной оси абсцисс, и вершиной, лежащей правее точек пересечения кривой 1) с кривыми 2) и 3). Преобразование уравнения для собственных значений на основе анализа расположения корней в комплексной плоскости одной из определяющих его вид функций удалось показать оценками правой и левой частей уравнения, что устойчивость имеет место под кривой  $\alpha R = c_1'$  и над кривой  $\alpha R = c_2'$ , причем  $c_2' = c_1'$ , т. е. во всей плоскости  $\alpha R$ . Таким образом, доказано, что течение Куэтта полностью устойчиво по отношению к малым возмущениям.

Семьдесят пятое заседание 29 X 1970. **Б. В. Дерягин** (Москва). *Новые данные о сверхплотной воде*.

В докладе приведены некоторые сведения о физических свойствах сверхплотной воды.

Семьдесят шестое заседание 12 XI 1970. **В. П. Мясников, П. П. Мосолов** (Москва). *Вариационные методы в теории течения жестко-вязко-пластических сред\**.

Семьдесят седьмое заседание 26 XI 1970. **В. В. Крементуло** (Москва). *Стабилизация стационарного движения твердого тела при помощи управляемых вращающихся масс\**.

Семьдесят восьмое заседание 10 XII 1970. **Ю. А. Буевич** (Москва). *О статической гидромеханике дисперсных систем*.

<sup>1</sup> Подробности о содержании семинаров, отмеченных звездочкой, см. Изв. АН СССР, МТТ, 1971, № 4.

Под такими системами понимаются потоки жидкостей и газов, несущие мелкие частицы. Задача построения теории заключается в том, чтобы дать описание явлений в макроскопических терминах, выраженных через характеристики макроструктуры. При этом основная трудность заключается в описании флуктуаций, возникающих в таких системах, и их влияния на усредненный поток.

Рассматриваются только ламинарные течения. На частицу в потоке (например, вертикальном) действует сила тяжести, архимедова сила и увлекающая сила потока (направленная в среднем вверх для вертикального потока). Под действием флуктуаций баланс этих сил нарушается, так как направленная вверх увлекающая сила зависит от концентрации нелинейно. В области положительной флуктуации частица ускоряется вверх, в области отрицательной — вниз, причем скорость частицы может намного превышать среднюю скорость потока. Имеются, кроме того, поперечные флуктуации. При построении теории рассматривается случайное движение частиц в приближении случайных фаз. Это позволяет для функции распределения скоростей частиц записать интегральное уравнение Чепмена — Колмогорова. Рассматривая большие времена, а именно времена выравнивания или изменения средних параметров, можно далее перейти к дифференциальным уравнениям, определяющим изменение этих параметров. Рассмотрен ряд конкретных примеров решения этих уравнений.

Семьдесят девятое заседание 24 XII 1970. **П. Я. Ямпольский** (Москва). *Прохождение ударных волн в органических мономерах и полимерах\**.

Восьмидесятое заседание 7 I 1971. **Б. К. Ринкевичус** (Рига). *Оптическая доплеровская локация гидродинамических потоков*.

При прохождении светового луча через поток благодаря эффекту Доплера происходит изменение частоты на величину  $\Delta f \approx v_0 U / c$ , где  $v_0$  — основная частота,  $u$  — скорость потока в направлении, перпендикулярном лучу,  $c$  — скорость света. Используя монохроматические когерентные пучки света, создаваемые лазером, можно измерять разность частот  $\Delta f$  по интерференции двух лучей, составляющих различные углы с направлением потока. Световые «биения» преобразуются фотоумножителем в электрический сигнал, по частоте которого можно определить скорость потока. Метод позволяет как весьма малые (от  $10^{-4}$  см/сек), так и весьма большие ( $\sim 10^3$  м/сек) скорости, причем не нуждается в тарировке. Разрешающая способность метода определяется протяженностью области пересечения двух лучей и составляет доли миллиметра, что позволяет мерить локальные значения скоростей. Наконец, по размыту частоты сигнала можно определять спектр скорости. В качестве примера применения метода были приведены измеренные распределения скоростей для ряда течений жидкости и газа (распределение скоростей у стенки при свободной конвекции, распределение скоростей в элементах пневмоавтоматики, распределение скоростей в стекающей по стенке пленке и т. д.).

Восемьдесят первое заседание 21 I 1971. **Ю. П. Гупало, Ю. С. Рязанцев** (Москва). *Тепло- и массообмен сферической частицы в ламинарном потоке*.

Пусть ламинарный поток вязкой жидкости или газа, несущий примесь, обтекает сферу, на поверхности которой эта примесь исчезает в результате некоторого процесса; важной характеристикой процесса является поток вещества на поверхность частицы. Задачи такого рода возникают в связи с различными технологическими вопросами: горение частиц угля в кислороде и воздухе, оседание мелких частиц на крупную и т. д. Определяющими параметрами в задаче являются: число Рейнольдса  $R$ , число Пекле  $P$  и число Шмидта  $S$ .

Известно решение этой задачи в пределе бесконечно малых  $R$ .

Рассмотрены два предельных случая

$$R > 0, \quad P \gg 1 \quad (1)$$

$$R > 0, \quad P \approx R \quad (2)$$

В газе реализуется случай (2); в жидкости — случай (1).

В первом случае задачу удалось свести к обыкновенному дифференциальному уравнению.

Во втором случае задача решена методом внешних и внутренних разложений. Полученные формулы выражают в явном виде аналитическую зависимость потока вещества от  $R$ ,  $P$  и  $S$ .

Восемьдесят второе заседание 4 II 1971. **К. Г. Валеев** (Киев). *О применении асимптотических методов в резонансных случаях\**.

Восемьдесят третье заседание 18 II 1971. **А. М. Скобева** (Москва). *О влиянии измерительного прибора на поле напряжений в сплошной среде. Численные результаты\**.

**Семинар по механике нефти и газа под руководством А. Х. Мирзаджанзаде и С. А. Христиановича.**

Первое заседание 23 IX 1970. В. М. Ентов, В. А. Каменский, В. И. Логинов (Москва). *Процесс деэмульсации нефти и связанные с ним задачи физико-химической гидродинамики.*

Цель процесса деэмульсации — очистка нефти от воды, присутствующей в нефти в виде мелкодисперсной эмульсии (несколько процентов), содержащей значительные количества солей (300—2500 мг/л при 0,1% воды). Технология деэмульсации сводится к смешению эмульсии с некоторым количеством деэмульгатора и промывочной воды, нагреву и последующему отстою в отстойниках; в ряде случаев для интенсификации процесса используется наложение электрического поля.

Были выделены два вопроса — анализ внутритрубной деэмульсации, когда для перемешивания эмульсии с деэмульгатором и промывочной водой используется турбулентный поток в трубе, и анализ явлений в «промежуточном слое» — слое, обогащенном дисперсной фазой, образующемся вблизи границы раздела фаз в отстойниках.

При рассмотрении внутритрубной деэмульсации необходимо учитывать гидродинамическое взаимодействие частиц, значительно снижающее эффективность столкновений капель эмульсии. Однако даже с учетом этого обстоятельства согласно расчетам при обычных используемых числах Рейнольдса  $\sim (1 \div 5) \cdot 10^4$  уже на относительно коротких участках трубы (до сотен метров) должно достигаться динамически-равновесное распределение капель эмульсии по размерам.

Наиболее интересным свойством промежуточного слоя капель воды в отстойниках является то, что при подаче эмульсии снизу он может служить своеобразным самообновляющимся фильтром. Расчет равновесного состояния промежуточного слоя имеет много общего с задачами теории консолидации грунтов.

Второе заседание 16 X 1970. В. Н. Марков, В. М. Рыжик (Москва). *Определение динамических кривых капиллярного давления.*

Для проверки применимости кривых зависимости капиллярного давления от насыщенности, полученных в статических равновесных условиях к фильтрационным расчетам двухфазной фильтрации и фильтрации с неполным насыщением, предложен способ, основанный на измерении распределения насыщенности в так называемой стабилизированной зоне, образующейся при вытеснении газа водой с постоянной скоростью. В стабилизированной зоне насыщенность есть функция переменной  $\xi = x - ct$ , где  $c$  — скорость фронта вытеснения. Зная распределение насыщенности и относительную проницаемость для воды, можно рассчитать функцию  $p_c(s)$ , где  $p_c$  — капиллярное давление,  $s$  — водонасыщенность. Были проведены эксперименты по вытеснению газа водой с различными скоростями на модели пласта в виде трубы длиной 170 см, набитой песком с проницаемостью  $\sim 10$  дарси. Насыщенность измерялась по электропроводности. Выяснилось, что капиллярное давление растет с ростом скоростей, если приравнять капиллярные давления при насыщенности заземления газа ( $\sim 0.9$ ).

В качестве возможного объяснения этого явления предполагается, что при больших скоростях фильтрации проявляется нестационарность процесса насыщения за счет небольшой неоднородности пористой среды, что и приводит к растяжению стабилизированной зоны и к кажущемуся росту производной  $p'_c(s)$ .

Третье заседание 26 XI 1970. А. А. Боксерман, Ю. П. Желтов (Москва). *Об извлечении нефти из пласта методом влажного горения.*

Одним из методов, позволяющим повысить полноту извлечения нефти, является организация в пласте путем закачки туда воздуха горения остаточной нефти, что приводит к разогреву остальной нефти и облегчает ее отбор.

Недостаток этого метода состоит в том, что из-за малой теплоемкости теплоносителя продуктов горения значительная часть тепла расходуется непроизводительно, так что метод применим лишь к тяжелым нефтям. Было сообщено о работах по усовершенствованию метода внутрискластового горения путем закачки одновременно с окислителем (воздухом) более эффективного теплоносителя — воды. Лабораторные опыты показали, что в присутствии воды удается уменьшить «размазывание» тепла по пласту и можно обеспечить устойчивое горение более легких нефтей, добывшись при этом более высокой полноты извлечения нефти. Намечены расчетные схемы, возможности их усовершенствования и упрощения, а также перспективы метода и первоочередные задачи его теории.

Четвертое заседание 24 XII 1970. Б. М. Гешелин, В. Л. Данилов (Москва) *Расчеты неоднородных многофазных течений в неоднородных пластах.*

Движение несмешивающихся жидкостей в пористой среде описывается системой квазилинейных уравнений, вырождающихся при определенных значениях насыщен-

ности порового пространства одной из фаз. Если учитывается капиллярная разность давлений, эта система является параболической; в пренебрежении ею система превращается в гиперболическую и допускает скачки. Для численного решения использовалась аппроксимация исходной системы на основе балансовых соотношений, записываемых для прямоугольного (двумерном случае) элемента области движения, возникающая разностная по пространственным и дифференциальная по времени система уравнений решалась на ЭВМ БЭСМ-3М.

Наибольшие трудности возникают при записи условий на элементах, содержащих скважины, поскольку здесь необходимо устанавливать некоторое соотношение между потоками каждой из фаз.

При решении принималось, что отборы фаз пропорциональны их относительным подвижностям. Приведены примеры расчета простейших одномерных течений, допускающих сравнение с аналитическими решениями, и сложной двумерной задачи о движении в пласте с большим количеством скважин и сильной неоднородностью.

Пятое заседание 4 II 1971. Ю. В. Зайцев (Москва) *Промысловые исследования разгрузки нефтяных пластов.*

Приведены данные по давлениям гидроразрыва для ряда скважин месторождений Азербайджана и прослежена связь между давлениями разрыва и условиями залегания пластов. Особый интерес вызывает то, что пониженные давления разрыва наблюдаются и в давно пробуренных и эксплуатируемых скважинах. Это не может быть объяснено одним лишь возмущением напряженного состояния глин в процессе бурения.

Семинар по механике сплошной среды под руководством Л. А. Галина

Сто одиннадцатое заседание 25 IX 1970. Л. А. Галин, О. М. Чурмаев (Москва)

*Движение пузырьков в жидкости при наличии химических реакций (исследование процессов барботажа).*

Выведены уравнения, описывающие процесс барботажа, в предположении, что все пузырьки одинаковы по своим геометрическим размерам и по химическому составу. Считалось, что все пузырьки движутся с постоянной скоростью и для каждого пузырька выполняются законы Дальтона и Генри.

В случае отсутствия химических реакций процесс описывается системой двух линейных уравнений в частных производных. Система решалась численно на ЭВМ. Графики и таблицы показывают влияние коэффициентов массоотдачи, диффузии и константы Генри на распределение вещества в реакторе.

В случае, когда константа скорости химической реакции постоянна, процесс описывается нелинейной системой трех уравнений в частных производных. Эта система также решалась на ЭВМ. Расчеты показывают, что при этом процесс весьма сильно зависит от величины константы скорости химической реакции.

Сто двенадцатое заседание 25 IX 1970. Б. Р. Сехт (Индия) *Проблемы перехода из одного состояния в другое в механике деформируемого твердого тела и гидродинамике* \*.

Сто тринадцатое заседание 2 X 1970. А. Ф. Бабицкий (Киев) *Первые интегралы уравнений движения и слабые разрывы в потоке многофазной жидкости.*

В первой части доклада рассмотрены случаи интегрирования уравнений движения многофазной жидкости, полученных на основе модели смеси — многофазного материального континуума. Получены первые интегралы уравнений движения для многофазной жидкости типа формул Бернулли, Громеко, Коши — Лагранжа, Эйлера и показано, в каких случаях эти формулы справедливы. Кроме того, в случае одномерного движения многофазной жидкости уравнения движения для потока с постоянным поперечным сечением проинтегрированы без наложения каких-либо условий на объемные концентрации компонентов смеси. В случае двухфазной жидкости когда один из компонентов смеси находится в форме сферических пузырьков, уравнения движения для одномерного стационарного потока проинтегрированы с учетом изменения объемных концентраций, площади поперечного сечения и фазовых преращений.

Во второй части доклада, исходя из системы уравнений многофазной жидкости, определены динамические и кинематические условия существования поверхности слабых разрывов. Получена новая система уравнений и в результате ее решения определена скорость распространения поверхности слабого разрыва в многофазном потоке. Показано, что в частных случаях скорость звука и скорость распространения поверхности слабых разрывов в двухфазном потоке равны. В общем случае эти скорости не равны, но близки по значению.

Сто четырнадцатое заседание 9 X 1970. **В. М. Александров** (Ростов-на-Дону). *Асимптотические методы в смешанных задачах теории упругости* \*.

Сто пятнадцатое заседание 30 X 1970. **Р. И. Нигматулин** (Москва). *Методы механики сплошной среды для описания многофазных сред*.

На основе представлений о многофазной сплошной среде получены уравнения механики двухфазной дисперсной смеси в рамках «двухдавленной», двухскоростной и двухтемпературной модели с учетом мелкомасштабного движения около включений, фазовых переходов, поверхностной энергии и сжимаемости обеих составляющих. Под мелкомасштабным движением здесь понимаются течения несущей среды около включений из-за их радиальных пульсаций и относительного движения в несущей фазе. Введение поверхностной фазы позволило использовать уравнения притока тепла для каждой фазы в виде, который приводит к более удобному способу учета эффектов, связанных с фазовыми превращениями. Рассмотрены основы термодинамики таких сред. Получено явное выражение для производства энтропии смеси, исходя из которого можно формулировать линейные феноменологические соотношения, характеризующие межфазовые взаимодействия, что и проделано на примере уравнения кинетики фазовых переходов.

В качестве области приложения, где требуется совместный учет указанных эффектов, можно указать течения жидкостей, содержащих пузырьки пара, в частности распространение возмущений в таких средах. При давлениях и температурах, достаточно близких к критическим, может оказаться необходимым учет сжимаемостей как пара, так и жидкости.

Сто шестнадцатое заседание 25 XII 1970. **С. Г. Лехницкий** (Ленинград). *Задача Сен-Венана для непрерывно-неоднородного анизотропного бруса* \*.

**Семинар по механике систем твердых тел и гироскопов под руководством А. Ю. Ишлинского, Д. М. Климова, Е. А. Девянина**

Заседание семинара 12 X 1970. **Х. Л. Смолицкий** (Ленинград). *Ошибки гироскопа в кардановом подвесе, находящемся на подвижном основании* \*.

Заседание семинара 26 X 1970. **А. Г. Вагис** (Киев). *Статистические оценки электромагнитных источников ошибок гироскопа* \*.

Заседание семинара 9 XI 1970. **Ю. Г. Алдошин** (Москва). *Метод определения исследования устойчивости движения* \*.

Заседание семинара 16 XI 1970. 1. **В. А. Стороженко и М. Е. Темченко** (Киев). *К задаче определения местоположения объекта в околосферных широтах* \*.

2. **А. Ю. Ишлинский** (Москва). *Об одном обосновании формулы Магнуса* \*.

Заседание семинара 7 XII 1970. 1. **Ю. А. Еромолин** (Москва). *Колебания систем с сухим трением при воздействии периодических импульсов (одна степень свободы)* \*.

2. **Л. И. Ткачев** (Москва). *Модернизация поплавкового гироскопа* \*.

Заседание семинара 21 XII 1970. **В. М. Вечтомов** (Москва). *Тепловой дрейф шарового поплавкового гироскопа* \*.

Заседание семинара 11 I 1971. **Е. И. Харламова** (Донецк). *Алгебраические инвариантные соотношения в задаче о движении твердого тела, имеющего неподвижную точку* \*.

Заседание семинара 25 I 1971. **Е. Д. Боданский** (Москва). *О точности определения ориентации движущегося объекта с помощью идеальных интегрирующих датчиков угловой скорости и цифрового дифференциального анализатора* \*.

Заседание семинара 8 II 1971. **В. Ф. Журавлев** (Москва). *Вопросы балансируемости жестких роторов в неидеальных подшипниках* \*.

Заседание семинара 22 II 1971. **М. Ф. Диментберг** (Москва). *Некоторые статистические задачи колебаний механических систем* \*.

**Семинар по механике оболочек и пластин под руководством С. А. Алексеева, А. Л. Гольденвейзера, В. И. Феодосьева.**

Пятьдесят пятое заседание 7 X 1970. **У. К. Нигул** (Таллин). *Развитие работ по динамике оболочек в США* \*.

Пятьдесят шестое заседание 11 XI 1970. **Б. И. Друзь** (Владивосток). *Колебания мягких оболочек в потоке жидкости* \*.

Пятьдесят седьмое заседание 25 XI 1970. **Б. Л. Бухин** (Москва). *Малые деформации в осесимметричных сетчатых оболочках* \*.

Пятьдесят восьмое заседание 9 XII 1970. **С. М. Дургарьян** (Ереван). *Некоторые температурные задачи для ортотропных оболочек и пластинок* \*.

Пятьдесят девятое заседание 20 I 1971. **С. А. Алексеев** (Москва). *О работах А. Л. Гольдштейнера по теории оболочек* \*.

**Семинар по динамике сплошной среды под руководством Л. В. Альтшулера, С. С. Григоряна, Н. В. Зволинского, Г. С. Шапиро.**

Пятьдесят второе заседание 18 I 1971. **В. П. Мясников, П. П. Мосолов** (Москва). *Вариационные принципы в механике голономных диссипативных сред* \*.

Пятьдесят третье заседание 1 II 1971. **А. М. Скобеев** (Москва). *Взаимодействие датчика напряжений с упругой средой. Численные результаты* \*.

Сто семнадцатое заседание 8 I 1971. **О. В. Воинов, А. Г. Петров** (Москва). *Движение сферы переменного объема в идеальной жидкости.*

Излагались некоторые результаты из работы докладчиков, которая будет напечатана (см. Изв. АН СССР, МЖГ, 1971, № 5).

Сто восемнадцатое заседание 15 I 1971. **В. Я. Марецкий** (Днепропетровск). *Обратная краевая задача упруго-пластического кручения* \*.

Сто девятнадцатое заседание 29 I 1971. **Ю. А. Буевич, В. В. Бутков** (Москва). *Режимы массообмена при экстракции в двухфазных прямо- и противоточных реакторах.*

Сформулированы уравнения, определяющие движение фаз и интегральный межфазовый массоперенос в изотермических двухфазных реакторах. Рассмотрены простейшие модели экстракции, не сопровождающейся изменением удельного объема фаз, и растворение газа в противоточных и прямоточных колоннах применительно к процессам в различных барботажных и распылительных установках.

Показано, что режимы экстракции определяются значением трех безразмерных параметров, зависящих от скоростей обеих фаз, объемного коэффициента массопередачи, коэффициента распределения, объемной концентрации дисперсной фазы и высоты колонны. Приводятся рабочие характеристики колонны, соответствующие заданным значениям коэффициентов насыщения или извлечения. Рассмотрена оптимизация работы колонны по разным параметрам (по скорости сплошной среды, высоте колонны, размеру капель дисперсной фазы и т. п.) Часть результатов опубликована в статье докладчиков (ПМТФ, 1971, № 1).

Институт гидродинамики Сибирского отделения АН СССР теоретический семинар под руководством Л. В. Овсянникова.

6 I 1971 г. **А. А. Бузуков, В. К. Кедринский** (Новосибирск). *Образование султана воды при подводном взрыве.*

Проведено качественное экспериментальное исследование поведения ударных волн и волн давления от первой пульсации при подводном взрыве вблизи свободной поверхности. Показано, что особенности изменения максимальной амплитуды первой пульсации с глубиной соответствуют характеру деформации формы взрывного пузыря в процессе сжатия. Определена скорость и высота подъема головной части султана воды в зависимости от времени, изучено движение стенок пульсирующей жидкости и выяснен характер плотности водяной компоненты в султани.

13 I 1971 г. **С. К. Годунов** (Новосибирск). *Термодинамические тождества магнитной гидродинамики.*

Показано, что уравнения магнитной гидродинамики могут быть специальным выбором искомого функций записаны в виде симметрической системы. Выбор этих функций связан с множителями, на которые надо умножить основные уравнения при получении из них уравнения для энтропии. Аналогичное приведение к симметричному виду уравнений обычной гидродинамики было предложено докладчиком в 1961 г. Существенное отличие в случае магнитной гидродинамики заключается в том, что записанные в терминах законов сохранения (дивергенций) исходные уравнения теряют дивергентный вид после приведения системы к симметрической.