

Бирзуль Алексей Николаевич

старший преподаватель

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный

университет путей сообщения»

г. Хабаровск, Хабаровский край

Питиляк Дмитрий Александрович

главный экономист

Отделение Банка России по Сахалинской области

г. Южно-Сахалинск, Сахалинская область

DOI 10.31483/r-103035

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫХ ПРИСАДОК ДЛЯ НЕФТИ

Аннотация: в статье рассмотрена техника и методика демонстрационного эксперимента при изучении противотурбулентных присадок в курсе гидравлики, описаны опыты разной степени сложности, которые насуточно необходимы при проведении учебных занятий по этой актуальной теме. Приведенные опыты имеют прикладное нефтегазовое значение и способствуют повышению экологической культуры обучающихся в технических вузах.

Ключевые слова: гидравлика, эксперименты, нефть, противотурбулентные присадки, вязкость.

Общие сведения. Тема противотурбулентных присадок (ПТП) сравнительно недавно стала рассматриваться на лекциях по гидравлике в высшей школе, и интерес к этой проблеме был во многом вызван запросами работников нефтегазового производства, использующих ПТП для увеличения пропускной способности трубопроводов. До настоящего времени она редко поднималась в методической литературе по гидравлике из-за своей относительной новизны и недостаточной востребованности. Поэтому предлагаемая статья является одной из первых попыток обобщения накопившегося экспериментального материала по данной теме в части, касающейся лекционных опытов и демонстраций.

Известно, что основная цель демонстрационных опытов – сделать более убедительным и осязаемым изучаемый теоретический материал, раскрыть особенности наблюдаемых реакций и процессов, перевести слова лектора на «видимую» основу. Значение этих опытов как средства наглядности особенно велико в случае применения ПТП, когда происходят незримые изменения на закрытом для человеческого восприятия атомно-молекулярном уровне, о которых приходится судить лишь по косвенным признакам. Важность подобных исследований подчеркивал Ю.П. Белоусов в своей монографии: «Широкое применение ПТП сдерживается недостаточной изученностью явления снижения гидродинамического сопротивления, лежащего на стыке гидродинамики, физикохимии и реологии полимеров» [1, с. 7].

Требования к демонстрационным опытам. На основе собственных исследований и опыта лекционной работы нами осуществлен подбор экспериментов и предложена определенная последовательность их использования. При выборе демонстрационных опытов мы руководствовались следующими соображениями. *Во-первых*, из-за ограничения по времени опыт должен обладать сравнительно большой скоростью выполнения не в ущерб наглядности и надежности. Как показывает практика, много времени занимает не сама демонстрация, а ее непосредственная организация, т.е. подготовка опыта до учебного занятия, поскольку его успешное выполнение на лекции всегда требует тщательной внеаудиторной проверки и оттачивания. В противном случае небрежно показанные опыты с получением искаженных результатов разрушают веру студентов в преподавателя, не вызывают уважения к нему и подрывают его авторитет. С.А. Хорошавин подчеркивает: «Время, которое вы затратите на подготовку, никогда не будет потерянным временем» [3, с. 13]. *Во-вторых*, лекционный эксперимент должен быть запоминающимся и успешным, обязан производить сильное и неизгладимое впечатление на слушателей. Известно, что при демонстрации опытов повышенный интерес студентов вызывают зрительные эффекты (яркое излучение, горение, изменение окраски веществ) [3, с. 7]. Поэтому этот психологический фактор необходимо учитывать при постановке экспери-

ментов. Например, подкрашивать плакатной тушью воду, заполняющую пространство пьезометров, по которым легче будет оценить снижение гидравлического сопротивления (см. рис.1). Также есть рекомендация использовать пасту, взятую из шариковых ручек, для окрашивания автомобильного бензина [3, с. 31]. *В-третьих*, наряду с гидравлическим экспериментом следует использовать другие средства наглядности (фрагмент видеофильма, фотографии, плакаты). Безусловно, они положительно влияют на восприятие и осмысление эксперимента. При их умелом комплексном применении на лекции можно достаточно полно и наглядно раскрыть механизм действия ПТП. *В-четвертых*, к демонстрациям следует активно привлекать студентов. Для них это будет интересным занятием, ибо для проведения опыта следует подобрать вещества, приготовить рабочие растворы, смонтировать несложный прибор, создать условия для течения гидравлического процесса, а затем дать объяснение (рис. 2).



Рис. 1. Показания пьезометров с тушью



Рис. 2. Работа студента с вискозиметром ВПЖ

Студенты с большим интересом наблюдают за демонстрацией опытов своими товарищами, получают эмоциональную разгрузку, лучше воспринимают и усваивают учебный материал и стиль экспериментальной работы. *В-пятых*, при проведении опытов с ПТП необходимо строгое соблюдение правил техники безопасности, поскольку планируется аудиторная работа с нефтепродуктами и стеклянной химической посудой, относящимися к опасным производственным факторам. *Наконец*, по нашему мнению, в лекционных опытах должна широко применяться современная лабораторная техника, о которой студенты зачастую имеют смутное представление. Приведенные ниже описания опытов основаны на широком использовании оборудования и приборов, имеющихся в гидравлической лаборатории ДВГУПС. Итак, примерная схема проведения лекционных опытов и демонстраций по теме ПТП выглядит следующим образом.

Видеофрагменты научно-популярных и учебных фильмов. Это средство наглядности уместно применить в качестве введения в тему ПТП, поскольку у студентов предварительно должно быть собственное мнение по затронутому вопросу. Это уже залог успешного восприятия нового материала слушателями, так как в определенной мере они подготовлены к теме лекции, она не является для них откровением или полной неожиданностью. Часто сами студенты и являются инициаторами аудиторного просмотра учебных фильмов по гидравлике. Конечно, преподавателем демонстрируется не весь фильм, а только отдельные эпизоды, отвечающие теме лекции и наиболее интересные с методической точ-

ки зрения. Такие показы всегда должны сопровождаться поясняющими словами преподавателя.

В сети Интернет представлен ряд обучающих фильмов об эффекте Томса и разных видах течения жидкостей, которые могут быть использованы в качестве сопутствующего материала в образовательном процессе. Их явное преимущество состоит в том, что снижение турбулентных эффектов в потоке жидкости – исключительно динамический процесс, и его демонстрация возможна только опытными лекторами в случае использования специального видеостенда, емкости с движущейся жидкостью и возможностью впрыска окрашенной жидкости. Далеко не каждая соответствующая лекция может в реальных условиях сопровождаться такими сложными демонстрационными опытами, поэтому использование видеоматериалов позволяет гарантированно познакомить студентов с реальным действием добавления ПТП в инженерных системах. Видеоролики для лекции могут быть отобраны либо преподавателем, либо самими студентами.

Например, перед лекцией, посвященной ПТП, преподаватель заранее выдает студентам задание найти видеофрагменты, которые помогают выяснить, насколько опасны такого рода присадки для окружающей природной среды. Чаще всего этот экологический момент упускается многими исследователями из виду, и тем ценнее будет подобранный студентами видеоматериал. В частности, интересным будет видео, которое докажет или опровергнет стабильность ПТП в окружающей среде. Также полезной окажется информация об оценке токсичности ПТП для животных и человека и о существующих биотестах для этого. Нельзя обойти вниманием и вопрос влияния ПТП на конечные товарные свойства нефтепродуктов, после завершения этапа перекачки по магистральным трубопроводам. Для успешной реализации описанной схемы рекомендуется разделить студенческую группу на несколько поисковых коллективов с условными названиями «Экологи», «Биологи» и «Технологи», которые будут отбирать видео по указанной преподавателем теме. При желании, может быть создана группа «Охрана труда», которая будет искать визуальную информацию по технике безопасности при обращении с водными растворами ПТП. Если

необходимо сузить круг поиска, то лектор может обозначить его границы (временные, технологические, географические). Например, указать студентам фамилии некоторых зарубежных ученых, занимавшихся вопросами экологической безопасности ПТП и изучением их технологических свойств (Б.А. Томса, Р. Паттерсона, Д. Шилдса, Дж. Астарита и других). Иные персоналии названы в книге [2, с. 207]. Либо сделать упор на сложности приготовления некоторых водных растворов ПТП (необходимость контроля температуры растворителя, возможный эффект «рыбьих глаз» при растворении, соблюдение сроков хранения готовых растворов и т. д.).

В качестве отправного пункта для осуществления собственных лекционных опытов может служить учебный фильм «Характеристики ламинарного и турбулентного течения» Айовского университета, где наглядно показано существенное преобладание сил вязкости при ламинарном режиме движения жидкости. Перед проведением опытов лектору целесообразно дать краткое объяснение тем явлениям, которые будут наблюдаться при демонстрации. Во время самого показа преподаватель обязательно описывает словами каждую выполняемую им операцию, фиксирует внимание аудитории на основных этапах опыта. Для лучшего зрительного восприятия можно использовать веб-камеру с макро-съемкой и выводом снимаемого изображения на большой экран. Следуя заявленному алгоритму, рассмотрим подробнее конкретные опыты по теме ПТП.

Экспресс-анализ вязкости нефти с добавкой ПТП и без них. Из курса гидравлики известно, что вязкость определяет подвижность нефти в различных технологических процессах. В основе рассматриваемого эксперимента лежит факт изменения вязкостных свойств жидкостей, в которые внесены полимерные добавки. Очевидно, что такая технологическая операция приводит к увеличению вязкости нефти. Данный опыт позволяет экспериментально обнаружить не только сам факт роста вязкости, но дает возможность определить степень произошедших в нефти изменений с получением количественных заключений. Сама демонстрация заключается в следующем. Сначала с помощью вискозиметра определяется вязкость у исследуемой нефти, а затем у того же образца, но с

внесенной в его объем ПТП (с разными дозами, близкими к реальным производственным условиям). В качестве ПТП рекомендуется использовать полиакриламид (ПАА) марки «Санфлок N-520P». Капиллярный вискозиметр типа ВПЖ [1, с.45] заполняют необходимым объемом исследуемой жидкости, причем столбик жидкости должен подняться выше верхней метки над расширением (рис. 2), после чего измеряют время, необходимое для опускания мениска жидкости от верхней метки до нижней. Время истечения зависит от вязкости жидкости, которую находят по формуле, приведенной в паспорте устройства с учетом постоянной вискозиметра. В ходе подобных экспериментов выявлена следующая закономерность в диапазоне концентраций ПАА 5–25 мг/л: на каждые добавленные 5 мг/л присадки кинематическая вязкость исследуемой нефти росла в среднем на 0,8 мм²/с. Эти данные получены для вискозиметра марки ВПЖ-2 с капилляром 1,31 мм. Заводской прибор вполне может быть заменен на самодельный, сделанный из пластиковой бутылки объемом 0,5–1 л и инъекционной иглы 0,8 мм (от медицинского шприца 20 мл). По опыту авторов, нефть заменяема техническим ацетоном, а в качестве ПТП допустимо использовать водный раствор крахмала или содержимое черных гелевых ручек. При применении самодельного капиллярного вискозиметра необходимо брать отсчет времени истечения 50 капель ацетона, имеющего присадку и без таковой. Счет капель в каждую емкость можно возложить на аудиторию, при условии проецирования капилляра установки на большой экран. В ходе подобных опытов было установлено увеличение времени истечения ацетона по сравнению с контролем в среднем на 50% при концентрации крахмала 0,005% (по массе). Важно отметить, что названный эффект сохранялся при хранении раствора ацетона с крахмалом в течение двух суток. По поводу чернил гелевых ручек экспериментально определено, что их растворы следует использовать свежими и предварительно фильтровать через бумажный фильтр для устранения посторонних включений. Как видим из данного раздела, изменение вязкости жидкости при использовании ПТП может служить в целях быстрого подбора оптимальной дозы реагента.

Демонстрация снижения сопротивления течения. Для экспериментального исследования влияния ПТП на снижение сопротивления течения жидкостей применяется портативная гидродинамическая установка Г.П. Чайковского [4, с. 4]. Ранее она успешно использовалась для проведения выездных лабораторных работ по гидравлике в филиалах ДВГУПС. Данная конструкция компактна, маневренна, легко монтируется на преподавательском столе, проста в эксплуатации. Центральным элементом установки является неновой стальной трубопровод длиной 1 м и с внутренним диаметром, равным 0,8 см. В начальной и конечной точке трубопровода присоединены пьезометры, укрепленные на пьезометрическом щите с миллиметровой мерной шкалой и измеряющие пьезометрические напоры. Расход воды в системе можно определять либо мерным способом, либо с помощью накладного ультразвукового расходомера «Portaflow-300». В демонстрационном режиме достаточно провести два опыта: один – контрольный, второй – с вводом в установку фиксированного объема раствора ПАА. При этом студенты вживую увидят уменьшение потерь напора при использовании присадки (как на рис.1) и смогут количественно оценить величину снижения гидравлического сопротивления (так называемую гидравлическую эффективность ПТП [1, с.24] или величину эффекта Томса). В результате предварительных исследований установлено, что при расходе воды в трубчатой установке 0,05 л/с средняя эффективность 34% наблюдается при концентрации ПАА 0,05 г/л. При более высоких дозах ПАА эффективность снижается до 23% (проверено для концентраций ПАА не более 0,5 г/л). Для студентов, желающих подробнее изучить данную закономерность, на лекции предлагается участие в НИРС, в рамках которого строится кривая эффективности ПАА для исследуемого трубопровода. Кроме того, возможна студенческая съемка учебного видеоролика на заданную тему по методикам, подробно изложенным в работе [5]. Описанный опыт наиболее наглядно иллюстрирует читаемый лектором материал о действии ПТП, когда при движении жидкости намеренно усиливается роль сил вязкости по сравнению с силами инерции, и наблюдается оправданный переход из турбулентного режима в ламинарный [4, с. 12].

В качестве домашнего задания можно предложить студентам подготовить историческую справку о первых исследованиях эффекта Томса в России, которые успешно выполнены научной школой И.А. Чарного в 1964 году. Следует отметить, что в этих экспериментах также использовалась вода в роли перекачиваемой жидкости [2, с. 207].

Деловая игра по производству ПТП. Изучение темы использования ПТП при трубопроводном транспорте нефти предлагается завершить в виде практико-деловой игры «Производство ПТП». Соревновательный момент существенно повышает интерес студентов к такой форме занятий, а наличие этапа контроля качества продукции способствует выработке необходимой культуры работы на производстве.

Смысл игры состоит в том, чтобы произвести как можно больше так называемых «стандартных» порций ПТП. Преподаватель ставит задачу перед студентами, что они должны изготовить данный вид продукции для заказчика – условной нефтепроводной компании «ДВГУПС-НЕФТЬ». В качестве основы для приготовления ПТП в предлагаемой игре используется гель из черной гелевой ручки, в состав которого входят биополимеры, требуемые для наблюдения эффекта Томса. Непосредственно перед игрой может быть проведен предварительный (тренировочный) этап. Этому мероприятию лучше посвятить отдельное практическое занятие. Участники игры должны проделать те операции, который выполняет сам заказчик при введении присадок в перекачиваемую жидкость. Это позволит студентам в полной мере осознать смысл использования ПТП и лучше понять цель выполнения полученного от «ДВГУПС-НЕФТЬ» заказа в ходе самой деловой игры.

Итак, на предварительном этапе преподаватель показывает сам процесс изготовления присадки и ее применения. Получение присадки сводится к тому, что необходимо аккуратно с соответствующими инструментами произвести разбор стержня гелевой ручки (отделение пишущего узла), с помощью шприца 1 мл извлечь содержимое и вылить в емкость для разбавления. Важно соблюдать соотношение: каждые 0,2 мл геля доводятся дистиллированной водой до

объема 100 мл и тщательно перемешаются до однородного состояния. Эта смесь считается основным раствором (с объемной концентрацией 0,2%), который расфасовывается в мини-пробирки по 2 мл. Поскольку в работе нефтеперекачивающих станций используются массовые концентрации порядка 0,005% и средняя плотность нефти условно принята за 0,9 г/мл, то основная порция присадки-раствора объемом 100 мл и концентрацией геля 0,2% позволит улучшить перекачивание $100 \cdot 0,002 \cdot 0,9 / 0,00005 = 3600$ мл = 3,6 л модельного раствора. Тогда принятая в игре стандартная порция 2 мл раствора присадки снизит гидравлическое сопротивление для $2 \cdot 3600 / 100 = 72$ мл перекачиваемой жидкости. Для наглядности этих цифр можно сравнить объемы присадки и ацетона в специальной таре на белом фоне. Далее на предварительном этапе проводится оценка влияния этой порции ПТП на вязкость ацетона по методике, изложенной в предыдущем разделе. Кроме того, в день тренировки на электронных весах определяется масса пробирки 2 мл с присадкой, и полученное значение устанавливается в качестве эталона. При наличии колориметра контроль можно проводить и по цветности готовой присадки.

Затем, в другой день, проводится сама игра – организуется производство присадок студенческими «фирмами». Из числа студентов отбирается 2 человека в группу технического контроля. Они должны будут проверять точность наполнения пробирки, ее массы, наличие надписей специальным фломастером на пробирке: «ПТП», название фирмы-изготовителя и логотип, дата выработки. Стандарты оформления доводятся до групп заранее. Все остальные студенты делятся на несколько групп, чтобы в каждой было 4–5 студентов (на такое количество людей в группе установлен лимитирующий фактор производства). Им необходимо произвести как можно больше стандартных порций присадок объемом 2 мл каждая. В ходе обсуждения внутри групп выбирается логотип и название фирмы. Необходимые материалы для команд: черные гелевые ручки (или стержни), инструмент для разбора стержня, шприцы 1 и 5 мл, микропробирки номиналом 2 мл, специальные фломастеры для нанесения надписей на пробирки, перчатки, электронные весы, влажные салфетки.

Игра проводится в несколько туров, каждый длительностью строго 25 минут. Они отличаются между собой только способом организации производства. Группа технического контроля устанавливает такие расценки: 100 рублей за соответствующую критериям порцию, 75 рублей – за порцию с отклонением по массе или объему от эталона не более 5% в большую сторону, 50 рублей – с отклонением по массе или объему от эталона более 5%, но не более 10% в большую сторону. Образцы с недоливом или недовесом, а также явно бракованные и неверно оформленные пробирки оцениваются в 0 рублей.

В первом туре у студентов должно быть организовано только индивидуальное производство, а в качестве лимитирующего фактора производства – 2 фломастера на 4–5 работников в каждой группе. На первом этапе каждый студент должен лично своими инструментами разобрать гелевый стержень, приготовить водный раствор присадки, расфасовать и подписать (по мере освоения фломастера от других участников группы). В конце первого тура результаты группы определяются как сумма индивидуальных результатов одногруппников. Во втором туре при том же лимитирующем факторе группа внутри себя решает, как осуществить разделение труда на операции, и следует этому принципу при производстве ПТП. В третьем туре производство организуется так же, как и во втором, но теперь число фломастеров должно быть равно числу участников в группе. По итогам каждого раунда группа технического контроля осуществляет приемку продукции групп и оформляет результаты в форму, приведенную в таблице 1. Производительность труда определяется делением общего объема произведенной продукции (в руб. или шт.) на количество работников, занятых производством присадки.

Таблица 1

Форма для внесения результатов деловой игры
«Производство ПТП» для каждого тура

Номер тура №№		
Группа	Группа 1	Группа 2
Наименование фирмы	Нефтяники	Газовики
Количество работников	4	4

Единицы измерения продукции		шт.	руб.	шт.	руб.
Произведено продукции	полная годность				
	с откл. не более 5%				
	с откл. более 5%, но не более 10%				
	<i>Итого качественной продукции</i>				
	негодная				
Производительность труда на 1 работника (без учета негодной продукции)					

Результаты подводятся по итогам каждого раунда и игры в целом. Побеждает та команда, которая достигнет по итогам суммарно трех раундов максимальной стоимостной производительности. При совпадении результатов разных групп дополнительным критерием определения победителя может быть меньшая производительность в натуральном выражении (что говорит о производстве более качественной продукции) или минимум негодной продукции. Преподаватель самостоятельно выбирает систему поощрения участников в зависимости от успешности проведения деловой игры. В заключительном слове он обязательно называет факторы, повлиявшие на производительность труда, а также предлагает пути ее повышения.

Выводы. Таким образом, тема ПТП раскрыта на основе использования фрагментов учебных фильмов в сочетании с демонстрационными опытами, деловой игрой и пояснениями лектора. Рекомендации в статье имеют вариативный характер, что позволяет преподавателю выбрать ту идею, которая более доступна для данной кафедры. Рассмотренный в статье комплекс дает положительный педагогический эффект. С помощью предложенной схемы студенты последовательно проходят по обычному пути исследовательской мысли: от постановки задачи до ее решения, т.е. по-своему вовлечены в научный поиск. Вместо азбучных и готовых истин преподаватель вводит в лекцию познавательный гидравлический эксперимент, и аудитория становится его участником и судьей, добывая и обсуждая результаты исследовательского труда. Полученные на подобных лекциях знания студенты могут в дальнейшем творчески использовать в решении наиболее важных задач нефтегазовой отрасли, с соблюдением требований в области экологии и охраны труда.

Список литературы

1. Белоусов Ю.П. Противотурбулентные присадки для углеводородных жидкостей / Ю.П. Белоусов. – Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1986. – 143 с.
2. Мастобаев Б.Н. Химические средства и технологии в трубопроводном транспорте нефти / Б.Н. Мастобаев, А.М. Шаммазов, Э.М. Мовсумзаде. – М.: Химия, 2002. – 296 с.
3. Хорошавин С.А. Техника и технология демонстрационного эксперимента / С.А. Хорошавин. – М.: Просвещение, 1978. – 174 с.
4. Чайковский Г.П. Исследование закономерностей движения жидкости / Г.П. Чайковский, Е.В. Сошников, А.З. Ткаченко. – Хабаровск: ДВГУПС, 2000. – 31 с.
5. Шокурова Е.Е. Репортерский интернет-стендап как средство обучения студентов / Е.Е. Шокурова, А.Н. Бирзуль, Д.А. Питиляк // Социально-педагогические технологии в социализации будущего профессионала: сб. тр. – Хабаровск, 2019. – С. 54–61.