

УДК 378.147

Метелев Андрей Геннадьевич, старший преподаватель кафедры электроэнергетики и физики, Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск

Денисова Янина Вячеславовна, заведующая кафедрой геологии и нефтегазового дела, Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск

ЗНАЧЕНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ОСНОВЫ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН СТУДЕНТАМИ-НЕФТЯНИКАМИ

Аннотация

В статье обосновывается ключевая роль фундаментальной физической подготовки в формировании компетенций будущих инженеров-нефтяников. Анализируются основные междисциплинарные связи между разделами физики и специальными химико-технологическими дисциплинами. Показано, что такие разделы физики, как термодинамика, гидродинамика, молекулярная физика, электродинамика, являются теоретической основой для понимания процессов в пластовой системе, нефтепереработке и при трубопроводной транспортировке нефти и газа. Подчеркивается, что без глубокого понимания физических законов невозможно эффективное освоение химии нефти и газов, а также физики пласта. На конкретных примерах демонстрируется применение законов физики для решения практических задач, таких как расчет фильтрации флюидов или прогнозирование фазовых переходов. Рассматривается значение молекулярной физики и электродинамики для понимания электрохимической коррозии и интерпретации данных геофизических исследований скважин. Доказывается, что интеграция знаний по физике и химии способствует формированию системного инженерного мышления, необходимого для проектирования и оптимизации технологических процессов. Статья адресована преподавателям для усиления

профессиональной направленности курса физики в нефтегазовых вузах. Делается вывод о необходимости построения учебного процесса на основе тесной междисциплинарной интеграции для подготовки высококвалифицированных специалистов. Проведенный анализ подтверждает, что изучение физики служит неотъемлемым фундаментом для успешного освоения всего комплекса специальных дисциплин в нефтегазовой отрасли.

Annotation

The article substantiates the key role of fundamental physical training in shaping the competencies of future oil engineers. It analyzes the main interdisciplinary connections between the branches of physics and special chemical and technological disciplines. It is shown that such branches of physics as thermodynamics, hydrodynamics, molecular physics, and electromagnetism are the theoretical basis for understanding the processes in the reservoir system and oil refining. It is emphasized that without a deep understanding of physical laws, it is impossible to effectively master the chemistry of oil and gases, as well as the physics of the reservoir. Specific examples demonstrate the application of physical laws to solve practical problems, such as calculating fluid filtration or predicting phase transitions. The importance of molecular physics and electromagnetism in understanding electrochemical corrosion and interpreting well logging data is explored. The integration of physics and chemistry knowledge is shown to be beneficial.

Ключевые слова: физика, химия, междисциплинарные связи, нефтегазовое дело, подготовка инженеров, химия нефти и газа, физика пласта, гидродинамика, термодинамика, молекулярная физика, электродинамика.

Keywords: physics, chemistry, interdisciplinary connections, oil and gas industry, engineering training, oil and gas chemistry, reservoir physics, hydrodynamics, thermodynamics, molecular physics, electromagnetism

Введение. Современная нефтегазовая отрасль требует от специалистов глубоких фундаментальных знаний. Добыча, транспортировка и переработка углеводородов – это комплекс физико-химических процессов.

В современной системе подготовки инженеров-нефтяников зачастую наблюдается разрыв между фундаментальными дисциплинами и их прикладным применением в профессиональной деятельности. Часто студенты воспринимают изучаемые в курсе физики вопросы абстрактно, не видя их связи с будущей профессиональной деятельностью, что снижает мотивацию к обучению [4].

Актуальность данной работы обусловлена растущими требованиями к специалистам нефтегазовой отрасли, которым необходимо глубоко понимать физико-химическую сущность процессов добычи и переработки углеводородов. Физика, являясь фундаментальной наукой о природе, закладывает понятийный аппарат и методологическую основу для освоения целого спектра специальных химических и технологических дисциплин. Без прочного усвоения законов термодинамики, гидродинамики и молекулярной физики, электродинамики невозможно полноценное понимание таких ключевых для нефтяника предметов, как «Химия нефти и газа», «Физика пласта», «Процессы и аппараты нефтепереработки» и другие дисциплины.

Изучение физики формирует не просто набор знаний, а целостное естественнонаучное мировоззрение, необходимое для решения комплексных инженерных задач [2]. Преодоление формального подхода к изучению физики и демонстрация ее прикладного значения напрямую влияет на качество профессиональной компетентности будущих инженеров.

Цель исследования – систематизировать и наглядно продемонстрировать взаимосвязь разделов физики и химии в учебном плане студентов-нефтяников, обосновав необходимость углубленного изучения физики.

Физика как язык описания химических процессов в нефтегазовом деле. Физика служит универсальным языком, на котором описываются

фундаментальные химические процессы в нефтегазовом деле. Она предоставляет основной понятийный аппарат – такие физические величины и понятия, как давление, температура, энергия, энтропия и термодинамический потенциал, – который является общим для анализа как физических, так и химических явлений. Когда химик изучает превращения углеводородов, а инженер-нефтяник моделирует пластовое поведение флюидов, они оперируют единым набором терминов и законов, установленных физикой. Это создает целостную картину мира, где химическая реакция подчиняется тем же фундаментальным законам сохранения, что и движение жидкости в пористой среде.

Ярким примером этого является термодинамика, которая выступает ключевым связующим звеном между двумя дисциплинами. Законы термодинамики, являясь по своей природе физическими, определяют принципиальную возможность, направление и глубину протекания химических реакций, таких как крекинг или гидроочистка. Понятия свободной энергии Гиббса и энтропии позволяют количественно предсказать, будет ли процесс риформинга идти самопроизвольно в заданных условиях. Таким образом, физические законы задают границы и рамки, внутри которых происходят все химические превращения в технологических цепочках нефтепереработки и транспорта углеводородов.

Этот «язык физики» становится особенно критичным на стыке дисциплин, например, в физико-химии пластовых флюидов. Химический состав нефти определяет её вязкость, плотность и давление насыщения, однако именно физические законы фильтрации (например, уравнение Дарси) описывают, как эта нефть будет двигаться в коллекторе. Без общего языка, который обеспечивает физика, было бы невозможно создать комплексные математические модели месторождений, объединяющие данные о химическом составе флюидов, свойствах горной породы и технологических режимах эксплуатации. Следовательно, владение этим языком является

обязательным условием для эффективного проектирования и управления процессами в нефтегазовой отрасли [5].

Анализ междисциплинарных связей: от физических законов к химическим процессам.

Формируя целостное естественнонаучное мировоззрение, знание физических законов позволяет будущему инженер-нефтянику интегрировать разрозненные знания из химии, механики и геологии в единую картину для решения комплексных технологических задач [3].

Разделы молекулярной физики и термодинамики образуют наиболее очевидный и критически важный мост между фундаментальной физикой и прикладной химией в нефтегазовой отрасли. Их законы являются универсальным языком, на котором описывается поведение вещества в любых его состояниях — от идеального газа до сложных многокомпонентных систем, какими являются нефть и природный газ. Именно эти дисциплины лежат в основе таких специальных курсов, как физическая химия и химическая термодинамика, без глубокого усвоения которых немыслима эффективная работа в нефтехимии и проектировании технологических процессов.

Ярким примером практического применения является использование уравнений состояния реального газа, например, уравнения Ван-дер-Ваальса. В то время как модель идеального газа служит лишь грубым приближением, именно поправки Ван-дер-Ваальса, учитывающие объем молекул и силы межмолекулярного притяжения, позволяют с высокой точностью рассчитывать свойства пластовых газов и газовых конденсатов. Эти расчеты являются фундаментом для проектирования систем сбора, транспорта и переработки газа, определения условий, при которых в пласте или в оборудовании начинается выпадение конденсата, что напрямую влияет на экономику добычи.

Ключевую роль играют и начала термодинамики. Первое начало, как закон сохранения энергии, является основой для составления тепловых балансов химических реакторов. Инженер-технолог должен точно

рассчитывать, сколько энергии нужно подвести для инициирования процесса крекинга или отвести для контроля экзотермической реакции риформинга. Второе начало термодинамики и понятие энтропии дают ответ на принципиальный вопрос: будет ли данная химическая реакция или процесс разделения протекать самопроизвольно в заданных условиях? Это определяет теоретический предел превращений и позволяет оптимизировать технологические режимы, экономя ресурсы.

Наконец, понимание физической сущности фазовых переходов – испарения, конденсации и кипения – напрямую переносится в область химической технологии. Весь процесс первичной переработки нефти построен на управлении этими переходами. Сепарация нефти и газа на устье скважины, стабилизация нестабильного конденсата для предотвращения испарения легких фракций и, что особенно важно, ректификация – ключевой процесс на нефтеперерабатывающем заводе – являются ничем иным как инженерным воплощением знаний о равновесии между жидкой и газообразной фазой многокомпонентной смеси. Таким образом, абстрактные понятия молекулярной физики находят свое прямое и ежедневное применение в реальных технологических цепочках.

Принципы гидродинамики и механики являются физическим фундаментом для понимания поведения флюидов в пористой среде и трубопроводах, что напрямую связывает их с химией пластовых флюидов и реологией. Законы фильтрации, описываемые уравнением Дарси, и законы движения в трубах, основанные на уравнении Бернулли, определяют, с какой скоростью и при каких давлениях нефть или газ могут быть извлечены из пласта и транспортированы. При этом ключевой параметр этих уравнений – вязкость – является не чисто физической, а физико-химической характеристикой, напрямую зависящей от молекулярного состава нефти, в частности, от концентрации высокомолекулярных компонентов, таких как смолы, асфальтены и парафины.

Физика пласта представляет собой область, где физические законы напрямую используются для оценки химического взаимодействия в системе «флюид-порода». Изучение таких физических свойств, как проницаемость, пористость и капиллярное давление, позволяет прогнозировать, какие флюиды и в каких объемах могут быть извлечены. Однако именно химический состав пластовой воды и породы определяет процессы набухания глин, выпадения солевых осадков и образования стойких водонефтяных эмульсий, которые кардинально меняют эти первоначальные физические свойства, снижая проницаемость и осложняя добычу.

В области транспорта углеводородов гидравлика предоставляет инструментарий для расчета перепадов давления, подбора насосного оборудования и обеспечения безаварийной работы трубопроводов. Однако эти чисто механические расчеты должны в обязательном порядке учитывать химическую природу транспортируемой среды. Агрессивные компоненты, такие как сероводород и углекислый газ, инициируют коррозию, а физические условия (низкая температура, высокое давление) способствуют образованию газовых гидратов и парафиновых отложений, что требует применения ингибиторов и других химических реагентов, основанного на знании химических закономерностей.

Изучаемые в курсе физики вопросы электродинамики находят практическое применение в решении критически важных проблем коррозии и в методах геофизических исследований скважин. Понимание природы электрического тока в электролитах, основ электролиза и работы гальванических пар является фундаментом для объяснения механизмов электрохимической коррозии. Металл труб и оборудования, находясь в контакте с пластовой водой (электролитом), образует гальванические элементы, что приводит к их интенсивному разрушению. Борьба с этим процессом, будь то катодная защита или использование изоляционных покрытий, основана на управлении этими физико-химическими процессами.

Изучение магнитных свойств вещества можно связать с применяемыми в нефтегазовой отрасли методами неразрушающего контроля. Так, например, коэрцитиметрия (измерение коэрцитивной силы) является ключевым методом для выявления зон концентрации напряжений, коррозионных повреждений и других дефектов в трубопроводах, где исследования другими методами затруднительны.

Геофизические методы исследования скважин, в частности каротаж, базируются на измерении электрических и электромагнитных свойств горных пород и пластовых флюидов. Методы электрического (резистивиметрия) и индукционного каротажа позволяют оценить удельное электрическое сопротивление пород, которое напрямую зависит от их пористости, насыщенности углеводородами и минерализации пластовой воды. Таким образом, измеряя физические параметры, геофизики делают выводы о химическом составе и насыщенности коллектора, что является ключевой информацией для подсчета запасов и проектирования разработки месторождения.

Методы ядерной физики предоставляют уникальные возможности для дистанционного изучения свойств пород и мониторинга процессов, происходящих в пласте. Радиоактивный каротаж, включающий гамма-каротаж (ГК) и нейтронный каротаж (НК), основан на взаимодействии ядерного излучения с веществом. ГК регистрирует естественную радиоактивность пород, позволяя идентифицировать глинистые коллекторы, а НК, основанный на взаимодействии нейтронов с ядрами атомов водорода, позволяет оценить пористость породы, так как водород в большом количестве содержится в жидкости и углеводородах.

Еще одним важным применением является метод трассирования, основанный на использовании радиоактивных изотопов. Добавленные в закачиваемую в пласт воду или газ, эти меченые атомы позволяют проследить пути движения флюидов, определить скорость их фильтрации и выявить зоны с различной проницаемостью. Этот метод, лежащий на стыке ядерной физики

и химии, предоставляет ценнейшую информацию для оценки эффективности методов увеличения нефтеотдачи и оптимизации системы разработки месторождения.

Методические аспекты преподавания физики студентам-нефтяникам.

Эффективное преподавание физики студентам-нефтяникам требует реализации специальных методических подходов, направленных на преодоление разрыва между фундаментальной теорией и будущей профессиональной деятельностью [1, 5]. Ключевым из них является принцип профессиональной направленности, который должен пронизывать весь курс лекций и практических занятий. Это означает, что каждая изучаемая тема должна сопровождаться конкретными примерами из нефтегазовой практики. Например, при изучении термодинамики необходимо показывать применение её законов не только в абстрактных тепловых двигателях, но и в расчетах тепловых балансов технологических печей нефтеперерабатывающего завода или при моделировании процессов испарения легких фракций нефти в сепараторе.

Наиболее действенным инструментом реализации этого принципа является использование кейс-задач, моделирующих реальные профессиональные ситуации. Кроме стандартных физических задач студентам можно предложить рассчитать дебит скважины, используя закон Дарси, и проанализировать, как изменение вязкости нефти при ее обводнении повлияет на производительность. При изучении электродинамики задача может заключаться в интерпретации данных каротажа для определения удельного электрического сопротивления пласта и, на основе этого, оценки его нефтенасыщенности, что напрямую связывает физические законы с геологической интерпретацией.

Особую ценность представляют комплексные кейсы, требующие применения знаний из разных разделов физики. Задача на расчет теплового баланса реактора установки каталитического крекинга объединяет

молекулярную физику и термодинамику (первое начало, тепловые эффекты реакций, понятия теплоемкости и теплопередачи, массового и объёмного расхода сырья и катализатора). Решение таких задач формирует у будущего инженера системное мышление, показывая, что реальная технологическая проблема решается не применением одной формулы, а совокупностью физических принципов.

Для глубокой интеграции знаний необходима организация междисциплинарных проектов, выполняемых совместно кафедрами электроэнергетики и физики и геологии и нефтегазового дела. Примером такого проекта может быть разработка и расчет упрощенной модели сепарационной установки. Студенты применяют знания по термодинамике и гидравлике (физика) для расчета условий сепарации, одновременно рассматривая фазовые переходы и химический состав флюидов (химия), а также обосновывая параметры работы установки для подготовки нефти (специальная дисциплина).

Реализация этих методик требует от преподавателей физики тесного взаимодействия с коллегами с технологических кафедр для актуализации содержания программ учебных дисциплин, примеров и задач. Такой подход будет способствовать трансформации роли курса физики в учебном плане: из абстрактной и обязательной дисциплины он превращается в понятный и интересный инструмент, который студенты начинают воспринимать как неотъемлемую часть своей профессиональной компетенции, видя прямое применение изучаемых вопросов в решении инженерных задач нефтегазовой отрасли.

Таким образом, переориентация преподавания физики на профессионально-ориентированные методы не только повышает мотивацию студентов, но и закладывает прочный фундамент для успешного освоения специальных дисциплин, формируя целостное инженерное мышление, необходимое для современного специалиста.

Материалы и методы. Для проверки гипотезы о влиянии уровня знаний по физике на успешность освоения специальных дисциплин было проведено исследование, в котором использовался комплекс теоретических и эмпирических методов. Теоретическая часть включала анализ рабочих программ и учебных планов направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело» с целью выявления содержательных междисциплинарных связей. Эмпирическая часть основывалась на методах педагогического измерения (тестирование, анализ академической успеваемости) и статистической обработки данных. В исследовании была задействована выборка из 40 студентов 1-2 курсов, разделенных на контрольную (КГ, n=20) и экспериментальную (ЭГ, n=20) группы на основе репрезентативной выборки.

Педагогический эксперимент. Педагогический эксперимент проводился в течение одного семестра и состоял из двух этапов. На констатирующем этапе обе группы прошли входное тестирование по ключевым разделам физики (механика жидкостей, термодинамика) и был проведен анализ их текущей успеваемости по дисциплине «Химия нефти и газа». На формирующем этапе обучение студентов экспериментальной группы было построено с активным использованием профессионально-ориентированных методик: разбора кейс-задач (расчет дебита скважины по закону Дарси, определение условий гидратообразования) и выполнения междисциплинарного проекта по моделированию сепарации нефти. Контрольная группа обучалась по стандартной программе.

Результаты и обсуждение. Результаты итогового тестирования продемонстрировали статистически значимое различие между группами. Студенты ЭГ показали на 25% более высокие результаты в решении прикладных задач, требующих интегрирования знаний физики и химии. Качественный анализ выполненных проектов показал, что 80% студентов экспериментальной группы смогли корректно обосновать выбор физических законов для описания технологических процессов, в то время как в КГ этот показатель составил лишь 45%.

Наиболее показательным явился сравнительный анализ академической успеваемости по дисциплине «Химия нефти и газа» в последующем семестре. Была выявлена прямая положительная корреляция ($r=0,72$) между результатами итогового теста по физике и итоговой оценкой по химии. В ЭГ средний балл по химии составил 4,3, что на 0,6 балла выше, чем в КГ (3,7). Это позволяет утверждать, что целенаправленное формирование физической картины нефтегазовых процессов создает прочную базу для понимания их химической сущности, что подтверждает выдвинутую гипотезу.

Заключение. Таким образом, результаты педагогического эксперимента убедительно доказывают, что реализация профессионально-ориентированной методики преподавания физики, основанной на междисциплинарных связях, не только повышает качество знаний по самой физике, но и напрямую способствует более глубокому и осознанному освоению специальных химических и технологических дисциплин, закладывая основу для формирования компетентного инженера-нефтяника.

Список литературы

1. Кабиров Р.Р., Двояшкин Н.К., Новикова А.Х. О методах преподавания курса физики в бакалавриате вуза нефтяного профиля // Педагогические и социологические аспекты образования. материалы Международной научно-практической конференции. 2018. С. 35-37. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_34979156_18766763.pdf (дата обращения: 15.10.2025).
2. Климова, Т. Ф. Формирование научного мировоззрения в курсе физики / Т. Ф. Климова. // Молодой ученый. 2016. № 22.2 (126.2). С. 13-15. URL: <https://moluch.ru/archive/126/33658>. (дата обращения: 15.10.2025).
3. Машкова Е.А., Сиднев А.В. Межпредметные связи как средство формирования профессиональной компетентности студентов нефтяных вузов // Успехи современного естествознания. 2007. № 7. С. 127-129; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=11360> (дата обращения: 15.10.2025).
4. Сафаргалиева ДД, Брахманов ДМ, Исхаков АО, Галимова АА. Роль практической подготовки в формировании профессиональных компетенций будущих инженеров нефтегазовой отрасли // Управление образованием: теория и практика. 2024. Т. 14. № 2-2. С.49-59. URL: <https://emreview.ru/index.php/emr/article/view/1357> (дата обращения: 15.10.2025).
5. Трынкина Е.Т., Мокровицкая Н.В. Новые подходы к преподаванию физики и химии в техническом вузе // Обучение и воспитание: методики и практика 2016/2017 учебного года. Сборник материалов XXXIII Международной научно-практической конференции . Под общей редакцией С.С. Чернова. 2017. С. 161-168. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30540509_29904153.pdf (дата обращения: 15.10.2025).

References

1. Kabirov R.R., Dvoishkin N.K., Novikova A.Kh. On the Methods of Teaching Physics in the Baccalaureate of an Oil-Related University // Pedagogical and Sociological Aspects of Education. Materials of the International Scientific and Practical Conference. 2018. Pp. 35-37. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_34979156_18766763.pdf (accessed: 15.10.2025).
2. Klimova, T. F. Formation of a Scientific Worldview in the Physics Course / T. F. Klimova. // Young Scientist. 2016. No. 22.2 (126.2). Pp. 13-15. URL: <https://moluch.ru/archive/126/33658>. (accessed: 15.10.2025).
3. Mashkova E.A., Sidnev A.V. Interdisciplinary Connections as a Means of Forming Professional Competence of Students in Oil Universities // Advances in Modern Natural Sciences. 2007. No. 7. Pp. 127-129; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=11360> (accessed: 15.10.2025).
4. Safargalieva DD, Brakhmanov DM, Iskhakov AO, Galimova AA. The Role of Practical Training in Forming the Professional Competencies of Future Oil and Gas Engineers // Education Management: Theory and Practice. 2024. Vol. 14. No. 2-2. Pp. 49-59. URL: <https://emreview.ru/index.php/emr/article/view/1357> (accessed: 15.10.2025).
5. Trinkina E.T., Mokrovitskaya N.V. New Approaches to Teaching Physics and Chemistry at a Technical University // Teaching and Education: Methods and Practice in the 2016/2017 Academic Year. Collection of materials of the XXXIII International Scientific and Practical Conference. Edited by S.S. Chernov. 2017. Pp. 161-168. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30540509_29904153.pdf (accessed: 15.10.2025).