

ЦИФРОВЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ

Известия Балтийской государственной академии
рыбопромышленного флота. 2026. № 3(77). С. 187–190

Научная статья

УДК 348.147

Doi:10.46845/2071-5331-2026-3-77-187-190

Внедрение современных цифровых технологий при анализе поверхностей в процессе обучения студентов

Ольга Васильевна Астраух¹, Татьяна Васильевна Кармановская²

¹Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт,

Санкт-Петербург, Россия

¹sec_chemistry@bgarf.ru

²KTV@olpet.ru

Аннотация. Применение виртуальной и дополненной реальности для интерактивного анализа поверхностей улучшает понимание студентами на практике пространственных характеристик при изучении поверхности полимерных материалов. Использование компьютерных моделей для проведения виртуальных экспериментов позволяет проводить обучение более детально, дает возможность проследить полный цикл жизни материала с целью дальнейшего более точного проведения эксперимента. Чередование реального эксперимента и виртуальных симуляций, взаимодействующих по принципу взаимного дополнения, помогают добиваться результатов в реальной лаборатории с высокой точностью. Цифровые инструменты позволяют в процессе обучения студентов анализировать большие массивы данных, полученных при измерении характеристик поверхностей.

Ключевые слова: педагогический опыт, системный анализ, цифровизация, структура поверхности, цифровая модель, динамичный слой, компьютерные модели

Для цитирования: Астраух, О. В., Кармановская, Т. В. Внедрение современных цифровых технологий при анализе поверхностей в процессе обучения студентов // Известия Балтийской государственной академии рыбопромышленного флота. – 2026. – № 3(77). – С. 187–190.

Педагогические подходы к обучению системному анализу поверхности в современном мире строятся на переходе от классического «заучивания формул» к формированию системного инженерного мышления. Поскольку процессы на поверхности невидимы и сложны, обучение требует визуализации и междисциплинарности [1].

Студенты всегда были вовлечены в работу с реальным научным оборудованием, такими как АСМ и спектрометры уже на ранних этапах. Однако в процессе работы, для получения более проверенных и точных результатов возможно использование различных симуляторов и виртуальных лабораторий (VR). Поскольку работа на реальном сверхвысоковакуумном оборудовании слишком затратна, VR-тренажеры позволяют студенту «увидеть» атомную решетку и попробовать её «перестроить», понимая физику процесса на уровне интуиции.

Изучение процессов и системный анализ поверхности различных полимерных материалов представляют собой междисциплинарный подход, направленный на понимание структуры, физических и химических свойств поверхностных слоев различных полимерных материалов [2].

Это критически важная область, где поверхностные явления определяют работоспособность материалов. В процессе работы применяется системный анализ для создания моделей, описывающих сложные поверхностные реакции, прогнозирования свойств материалов, оптимизации катализаторов, создания новых материалов для борьбы с коррозией и управления процессами на поверхности.

Этот подход позволяет рассматривать поверхность не просто как границу раздела фаз, а как сложную динамическую систему, взаимодействующую с окружающей средой [3].



Цифровизация в системном анализе поверхности – это переход от простого наблюдения к созданию цифровых двойников материалов и использованию ИИ для обработки сложнейших массивов данных. Вместо сотен реальных опытов ученые запускают симуляции, чтобы предсказать, как поверхность исследуемого образца поведет себя при экстремальном давлении или температуре. В 2025 году стали практически реальными технологии молекулярного редактирования, позволяющие менять отдельные атомы в структуре поверхности на цифровой модели перед реальным синтезом [4].

Увеличилось число полностью автоматизированных производств и исследовательских центров, где роботы сами готовят образцы и проводят измерения под контролем ИИ. Результаты анализа поверхности хранятся в единых цифровых экосистемах, что позволяет исследователям из разных стран работать над одной проблемой в реальном времени параллельно.

Цифровизация сместила фокус с «поиска наугад» на целенаправленное создание материалов с заданными свойствами поверхности. Преобладает оптимизация поверхностей для минимизации отходов, с этой целью создаются наносенсоры с предсказанной чувствительностью.

Цифровой двойник поверхности – это уже не статичная картинка, а модель, работающая в реальном времени. Данные с реальных датчиков на площадках для эксперимента, поступают в цифровую модель, которая корректирует прогноз износа поверхности прямо в процессе работы.

В процессе проведения подобных экспериментов поверхность полимера можно рассматривать не как геометрическую плоскость, а как самостоятельное фазовое состояние вещества с уникальными свойствами. В системном анализе поверхность представляет собой динамический слой, толщина которого может составлять от одного до нескольких десятков нанометров [5]. Её свойства не являются константой, а зависят от «памяти» материала, с учетом всех предыдущих обработок и текущего состава среды [6]. Реконструкция поверхности – это «пересборка» верхних атомных слоев катализатора, которая происходит для изменения некоторых параметров, например снижения его поверхностной энергии.

Химические реакции редко идут на плоских гранях. Они предпочитают координационно ненасыщенные атомы на выступах и ребрах. Реконструкция может многократно увеличить число таких «рабочих мест» для молекул реагентов. На практических занятиях студенты сначала могут моделировать и реконструировать поверхность на компьютере, предсказывая её свойства, а затем сравнивают результат с экспериментальными данными. Это учит критическому анализу данных, где главной целью является научить студента воспринимать поверхность не как статичную картинку из учебника, а как динамичный объект, который меняется в реальном времени [7].

Использование обучающих симуляторов – это «мостик» между абстрактными формулами квантовой химии и реальными приборами, стоимость которых иногда значительна. В системном анализе поверхности студент может совершать ошибки без риска для оборудования.

В процессе использования виртуальных лабораторий возможно имитировать поведение системы во времени под влиянием среды. С помощью «ползунков» возможно изменить температуру и давление. На экране можно увидеть, как при нагреве атомы поверхности начинают вибрировать сильнее, и наступает реконструкция или плавление поверхности.

Таким образом происходит наглядная демонстрация кинетики. Студент видит, что процесс адсорбции – это не мгновенный «прилип», а процесс, зависящий от скорости соударения молекул [8].

В процессе таких исследований происходит формирование навыка «эксплуатации». И когда, накопив определенную базу исследований на симуляторе, студент придет к реальному прибору, он уже будет знать логику проведенных исследований и последовательность действий. Процесс, который в реальности может длиться 10 часов (например, медленное окисление), в симуляторе прокручивается за 10 секунд, причем можно «сбросить» эксперимент и начать заново, поменяв один параметр.

Использование симуляторов и цифровых двойников является мощным инструментом, которые при правильном подходе меняют саму структуру мышления студента. Однако важно понимать как позитивные эффекты, так и риски, а также то, какими примерами это сопровождается. Студент начинает «чувствовать» микромир. Он понимает, что поверхность – это не статичная картинка, а «кипящий» слой атомов, что формирует динамическое мышление [9].

Цифровизация системного анализа поверхности активно внедряется в ведущих технических университетах России и Мира. Это происходит как в рамках учебных программ, так и в совместных проектах с промышленными гигантами. Реальными примерами применения совместных методик исследования является УрФУ (Екатеринбург), где в Институте новых материалов

и технологий студенты используют цифровизацию для анализа микроструктур металлов. Кейсы включают автоматизацию классификации зерен в металлах с помощью нейросетей, что позволяет быстрее и точнее прогнозировать механические свойства сплавов [10].

В СПбПУ (Санкт-Петербург) – в рамках Центра НТИ «Новые производственные технологии» студенты работают над созданием цифровых двойников. Один из примеров – моделирование и последующий анализ поверхности лопаток турбин для авиационных двигателей, где сопоставляются данные лазерного сканирования с расчетными моделями износа [11]. В МАИ (Москва) на программе «Материаловедение и технология новых материалов» студентов обучают анализу свойств поверхностей материалов для аэрокосмической отрасли. Здесь цифровые данные о дефектах поверхности сопоставляются с данными об усталостной прочности конструкций спутников и самолетов [12].

Университеты часто используют оборудование и задачи от реальных партнеров. Так в процессе сотрудничества «Росатом» и «Северсталь» студенты-практиканты участвуют в проектах по контролю качества поверхности проката. Цифровые профилометры снимают данные в реальном времени, а студенты учатся сопоставлять эти «карты шероховатости» с практическими показателями адгезии защитных покрытий. На практике в лабораториях вузов применяется аддитивное производство и 3D-печать.

Например, в МГТУ им. Баумана при изучении селективного лазерного сплавления (SLM) студенты проводят анализ поверхности напечатанных изделий. Практические значения шероховатости, полученные цифровым методом, используются для настройки параметров мощности лазера в будущих итерациях печати.

В ряде зарубежных вузов и совместных лабораторий (например, в проектах Dalian University of Technology и Института неорганической химии СО РАН) внедряются системы «умной химии». Студенты анализируют поверхности катализаторов, используя ИИ, который сам выбирает лучшие участки для детального изучения на основе предварительных снимков [13].

Использование современных технологий позволяют студенту проследить полный цикл жизни материала практически за одно занятие. Основная опасность при этом будет проявляться в том, что он может начать воспринимать химию как «игру», где всё всегда получается, может забыть, что реальный образец всегда грязнее, а прибор капризнее, чем идеальная модель.

Поэтому, грамотное чередование реального эксперимента и виртуальных симуляций строится на принципе взаимного дополнения, где виртуальная среда берет на себя подготовку и концептуальный анализ, а в реальной лаборатории будет проходить отработка навыков и работа с используемой материей.

Только реальный опыт дает понимание погрешности, чистоты реактивов и нюансов работы рук. Если в эксперименте получен аномальный результат, студент может вернуться к симулятору (цифровому двойнику), чтобы проверить гипотезы.

Список источников

1. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон ; пер. с англ. / под ред. З. М. Зорина, В. М. Муллера. – Москва : Мир, 1979. – 568 с.
2. Зангвилл, Э. Физика поверхности / Э. Зангвилл ; пер. с англ. / под ред. В. Ф. Киселева. – Москва : Мир, 1990. – 532 с.
3. Боресков, Г. К. Гетерогенный катализ / Г. К. Боресков. – Москва : Наука, 1986. – 304 с.
4. Фелдман, Л. Основы анализа поверхности и тонких пленок / Л. Фелдман, Д. Майер ; пер. с англ. / под ред. Н. Г. Находкина. – Москва : Мир, 1989. – 344 с.
5. Вудраф, Д. Современные методы исследования поверхностей / Д. Вудраф, Т. Делчар ; пер. с англ. / под ред. В. Е. Корсукова. – Москва : Мир, 1989. – 564 с.
6. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии : учебное пособие для студентов старших курсов высших учебных заведений / В. Л. Миронов. – Нижний Новгород : Институт физики микроструктур РАН, 2004. – 114 с.
7. Шолл, Д. Теория функционала плотности. Практическое введение / Д. Шолл, Дж. Стейкел ; пер. с англ. / под ред. В. Л. Дербов. – Москва : Техносфера, 2014. – 224 с. (Оригинальное издание: Density Functional Theory: A Practical Introduction, Hoboken: Wiley, 2009. – 238 p.)
8. Цирлман, К. Анализ поверхности методами РФЭС и ОЭС / К. Цирлман. – Москва : Техносфера, 2010. – 240 с.



9. Беспалов, П. И. Компьютерные технологии в обучении химии: теория и практика / П. И. Беспалов. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 256 с.
10. Бондаренко, Г. Г., Львов, Б. Г., Николаевский А. В. Цифровая обработка и анализ изображений поверхностных наноструктур в сканирующем зондовом микроскопе СММ-2000. – Москва : МИЭМ, 2011. – 80 с.
11. Глухов, Л. В., Кириллов, А. Н., Шкодырев В. П. Системный анализ и управление в наноиндустрии : учебное пособие. – Санкт-Петербург : Издательство Политехнического университета, 2012. – 190 с.
12. Тихонов, С. Г. Методы исследования материалов и покрытий: цифровой анализ изображений. – Нижний Новгород : Издательство Нижегородского госуниверситета им. Н. И. Лобачевского (ННГУ), 2019. – 142 с.
13. ISO 25178-2:2012. Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Areal – Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters. – Geneva : ISO, 2012. – 48 p.

Информация об авторах

О. В. Астраух – кандидат технических наук, доцент;

Т. В. Кармановская – кандидат химических наук.

Статья поступила в редакцию 01.07.2026; одобрена после рецензирования 03.08.2026; принята к публикации 10.08.2026.