

## МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РАЗДЕЛОВ «ХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА» И «ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА»

Иванкина О.М., Курунина Г.М., Первалова Е.А.

*Волжский политехнический институт (филиал) ГОУ ВПО «ВолгГТУ», Волжский, e-mail: ivankin63@mail.ru, galina1@mail.ru, perevalova65@mail.ru*

В современных экономических условиях подготовка высококвалифицированных специалистов для промышленности приобретает особую актуальность. Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» является одним из приоритетных. Интегрированный подход к изучению дисциплин химического цикла позволяет формировать последовательно компетенции, получая при этом качественный образовательный результат. В статье рассматривается использование междисциплинарного подхода к формированию общепрофессиональных и профессиональных компетенций при изучении разделов «Химическая термодинамика» и «Химическая кинетика». На примере дисциплин «Общая и неорганическая химия», «Физическая химия» и «Общая химическая технология» демонстрируется принцип отбора задач для самостоятельной работы с постепенно повышающимся уровнем сложности и введением элементов профессионального контекста. В работе проводятся примеры задач по всем дисциплинам, в которых рассматриваются подробно примеры их решения, с поэтапным объяснением. Подобные исследования являются неотъемлемым элементом при анализе и оценке химико-технологического процесса. Кроме того, делая вывод о полученных результатах, студент должен совокупно оценить влияние термодинамических и кинетических факторов на выбор оптимальных условий проведения процесса. При освоении этих дисциплин формируются некоторые общие компетенции, позволяющие получить студентам направления 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» знания, умения и навыки, необходимые в будущей производственно-технологической деятельности.

Ключевые слова: компетентностный подход, химическая термодинамика, химическая кинетика, химико-технологический процесс, производственно-технологическая деятельность.

## CROSS-DISCIPLINARY APPROACH TO FORMATION OF OBSHCHEPROFES-SIONALNYH AND PROFESSIONAL COMPETENCES WHEN STUDYING SECTIONS «CHEMICAL THERMODYNAMICS» AND «CHEMICAL KINETICS»

Ivankina O.M., Kurunina G.M., Perevalova E.A.

*Volzhsky Polytechnical Institute (branch of) State Educational Institution of Higher Professional Education «Volograd State Technical University», Volzhsky, e-mail: ivankin63@mail.ru, galina1@mail.ru, perevalova65@mail.ru*

In modern economic conditions training of highly skilled experts for the industry acquires special relevance. The direction of preparation "Energо - and resource the preserving processes in chemical technology, petrochemistry and biotechnology" is one of priority. Integrated approach to studying of disciplines of a chemical cycle allows to form consistently competences, receiving at the same time qualitative result. In article use of cross-disciplinary approach to formation about-shecheprofessionalnykh and professional competences is considered when studying sections Chemical thermodynamics and Chemical kinetics. On the example of disciplines "The general and inorganic chemistry", "Physical chemistry" and "The general chemical technology" is shown the principle of selection of tasks for independent work with gradually increasing level of complexity and introduction of elements of a professional context. In work examples of tasks of all disciplines in which examples of their decision, with a stage-by-stage explanation are reviewed in detail are carried out. Similar researches are the integral element in the analysis and assessment of chemical and technological process. Besides, drawing a conclusion about the received results, the student has to estimate in total influence of thermodynamic and kinetic factors on the choice of optimum conditions of carrying out process. At development of these disciplines some general competences allowing to get to students referrals 18.03.02 "Energо - and resource the preserving processes in chemical technology, petrochemistry and biotechnology" knowledge, skills necessary in future production and technological activity are formed.

Keywords: competence-based approach, chemical thermodynamics, chemical kinetics, chemical and technological process, production and technological activity.

В современных экономических условиях подготовка высококвалифицированных специалистов для промышленности приобретает особую актуальность. Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» является одним из приоритетных [1].

Учебный план направления 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» предполагает изучение студентами дисциплин химического блока в течение нескольких семестров. При этом освоение дисциплин формирует некоторые общие компетенции, такие как [2]:

ОПК-2: способность использовать основные законы естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности, применение методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

ОПК-3: способность использовать основные естественно-научные законы для понимания окружающего мира и явлений природы.

Интегрированный подход к изучению дисциплин химического цикла позволяет формировать последовательно компетенции, получая при этом высокий образовательный результат [3; 4].

Сформированность этих общепрофессиональных компетенций позволяет в дальнейшем при изучении дисциплин профессионального блока способствовать лучшему освоению профессиональных компетенций, необходимых для осуществления производственно-технологической деятельности [5-7]:

ПК-2: способность участвовать в совершенствовании технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, минимизации воздействия на окружающую среду.

**Цель работы** - продемонстрировать на примере дисциплин «Общая и неорганическая химия», «Физическая химия» и «Общая химическая технология» интегрированный подход к формированию компетенций различного уровня.

#### **Материал и методы исследования**

Общими разделами для этих дисциплин являются темы «Химическая термодинамика» и «Химическая кинетика». В рамках этих разделов демонстрируется принцип отбора задач для самостоятельной работы с постепенно повышающимся уровнем сложности и введением элементов профессионального контекста.

#### **Результаты исследований и их обсуждение**

При изучении курса «Общей и неорганической химии» в первом семестре студенты в разделе «Химическая кинетика» знакомятся с основными понятиями и кинетическими закономерностями: скорость гомогенной и гетерогенной реакций, константа скорости реакции, молекулярность реакции, закон действия масс, правило Вант-Гоффа. Решение задач

по кинетике химических реакций является важной составляющей процесса обучения курса «Общей и неорганической химии». Предваряет решение задач проверка степени усвоения теоретического лекционного материала в форме входного контроля, который стимулирует самостоятельную подготовку студентов к занятиям [8]. На данном этапе обучения студенты решают задачи, в которых кинетические закономерности носят несколько упрощенный характер.

*Пример 1.* Во сколько раз изменится скорость прямой реакции



*Решение.*

1 этап – постановка задачи. Студент должен знать, что увеличение давления в системе или уменьшение объема системы приводит к увеличению концентрации всех реагирующих веществ во столько же раз. Студент анализирует уравнение реакции и определяет, что процесс гомогенный – концентрации всех реагирующих веществ входят в кинетическое выражение.

2 этап – поиск способов решения. По закону действия масс, до изменения давления скорость реакции выражалась уравнением:  $v_1 = k \cdot (C_1(\text{H}_2))^3 \cdot C_1(\text{N}_2)$ . При увеличении давления концентрация каждого из реагирующих веществ возрастет в 3 раза, Следовательно, теперь

$$v_2 = k (3 \cdot C_1(\text{H}_2))^3 \cdot (3 \cdot C_1(\text{N}_2)) = 81k (C_1(\text{H}_2))^3 \cdot C_1(\text{N}_2).$$

3 этап – поиск и анализ результатов. Находим отношение скоростей:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{81k(C_1(\text{H}_2))^3 \cdot C_1(\text{N}_2)}{k(C_1(\text{H}_2))^3 \cdot C_1(\text{N}_2)} = 81.$$

Ответ: при увеличении давления в системе в 3 раза скорость данной реакции увеличилась в 81 раз.

Задачи не являются сложными, но, несмотря на это, решение подобных кинетических задач позволяет приобрести и закрепить навыки постановки задачи, отыскания ее решения и анализа полученного решения. Полученные навыки в дальнейшем пригодятся при изучении курсов «Физическая химия» и «Общая химическая технология».

В разделе «Химическая термодинамика» в рамках дисциплины «Общая и неорганическая химия» студенты знакомятся с основами важнейшего раздела химии; вводятся новые понятия и функции: стандартная энтальпия, стандартная энтропия, энергия Гиббса, их изменение в ходе химических процессов. В расчетах термодинамических величин используется закон Гесса с допущением, что значения энтальпии и энтропии не зависят от температуры.

*Пример 2.* Определите, возможно ли при температуре 1500 К восстановление оксида железа (III) до свободного металла по схеме:  $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{к}) + 3\text{H}_2(\text{г}) = 2\text{Fe}(\text{к}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{г})$ .

*Решение.*

1 этап – постановка задачи. На этом этапе студент должен знать, что возможность или невозможность протекания той или иной химической реакции определяется знаком изменения энергии Гиббса  $\Delta G$ .

2 этап – поиск способов решения. Студенты определяют с помощью таблицы термодинамических констант значение стандартных энтальпий и энтропий образований веществ реакции. По следствию из закона Гесса вычисляют значение  $\Delta H^0_{298}$  и  $\Delta S^0_{298}$ :

$$\Delta H^0_{298} = 3\Delta H^0_{298}(\text{H}_2\text{O}) - \Delta H^0_{298}(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 3 \cdot (-241,8) - (-882,2) = 156,8 \text{ кДж}$$

$$\Delta S^0_{298} = 2S^0_{298}(\text{Fe}) + 3S^0_{298}(\text{H}_2\text{O}) - S^0_{298}(\text{Fe}_2\text{O}_3) - 3S^0_{298}(\text{H}_2) = 2 \cdot 27,3 + 3 \cdot 188,7 - 87,4 - 3 \cdot 130,5 = 141,8 \text{ Дж/К.}$$

3 этап – поиск и анализ результатов. Температура не является стандартной, поэтому для расчета используется уравнение  $\Delta G_{1500} = \Delta H^0_{298} - T \cdot \Delta S^0_{298}$ , при этом зависимостью  $\Delta H^0$  и  $\Delta S^0$  от температуры пренебрегают. Значение  $\Delta S^0_{298}$  выражают в кДж/К:

$$\Delta G_{1500} = \Delta H^0_{298} - T \cdot \Delta S^0_{298} = 156,8 - 1500 \cdot 0,1418 = - 55,9 \text{ кДж}$$

$\Delta G_{1500} < 0$ , поэтому восстановление оксида железа (III) до свободного металла 1500 К возможно.

В курсе «Физической химии» изучение разделов «Химическая термодинамика» и «Химическая кинетика» идет более расширенно. В разделе «Химическая термодинамика» в задачах на вычисление энтальпии реакции студент должен производить расчет по уравнению Кирхгоффа, в котором расчет теплового эффекта реакции проводится с учетом зависимости его от температуры.

*Пример 3.* Пользуясь табличными данными энтальпии образования веществ, вычислите тепловой эффект реакции  $2\text{H}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$  при температуре 500 К, используя стандартные теплоты образования веществ и температурные коэффициенты теплоемкости.

*Решение.*

1 этап – постановка задачи. На этом уровне студент определяет: расчет энтальпии ведется с учетом зависимости теплоемкости от температуры или теплоемкость не зависит от температуры.

2 этап – поиск способов решения. На этом этапе студент производит поиск по справочникам или учебным пособиям [9], разработанным для дисциплины «Физическая химия», значений термодинамических данных заданной реакции, выписывает значения термодинамических коэффициентов. При этом он помнит, что значения необходимо брать с учетом фазового состояния вещества, для которого производится расчет. В зависимости от того, находится вещество в жидком, твердом или газообразном состоянии, итоговый результат может быть разным. Для удобства решения студенту рекомендовано составить

таблицу 1, куда поместить все данные для расчетов, которыми впоследствии он будет пользоваться. При этом лучше в начале таблицы поместить продукты реакции, а затем исходные вещества.

Таблица 1

Термодинамические данные реакции получения метилового спирта

Вещество	$\Delta H_{298}$ кДж/моль	a	$b \times 10^{-3}$	$c' \times 10^5$	$c \times 10^{-6}$
		Дж/К			
CH <sub>3</sub> OH	-201,2	15,28	105,2	-	-3,104
CO	110,5	28,41	4,1	-0,46	-
H <sub>2</sub>	0	27,28	3,26	0,502	-
$\Delta$	-90,7	-67,69	94,58	-0,544	-3,104

3 этап – поиск и анализ результатов. Проводя анализ уравнений Кирхгоффа и поставленной задачи, студент выбирает уравнение Кирхгоффа в интегральной форме для решения.

$$\Delta H_T = \Delta H_{298}^0 + \Delta a(T - 298) + \frac{\Delta b}{2}(T^2 - 298^2) + \frac{\Delta c}{3}(T^3 - 298^3) + \Delta c' \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{T} \right)$$

При этом изменения коэффициентов теплоемкости энтальпии в результате реакции можно сразу после расчетов записать в табл. 1. Далее полученные значения студент подставляет в уравнение и производит окончательные расчеты.

$$\Delta H_T = -90700 + 67,69(500 - 298) + \frac{94,58}{2}(500^2 - 298^2) - \frac{3,104 \cdot 10^{-6}}{3}(500^3 - 298^3) - 0,544 \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{500} \right) = -96930 \text{ Дж / моль}$$

Решив поставленную задачу, студент может сделать вывод о том, что с увеличением температуры энтальпия реакции увеличивается.

В разделе «Химическая кинетика» согласно поставленной задаче студент второго курса, изучающий дисциплину «Физическая химия», имеет знания для определения порядка реакции. Он способен не только определить порядок реакции по молекулярности, но и двумя способами: интегральным и дифференциальным. Примеры таких заданий решаются студентами на практических занятиях, а также включены в контрольную работу.

Самостоятельная работа в курсе «Общая химическая технология» предусматривает решение задач по разделам «Химическая термодинамика» и «Химическая кинетика», содержание которых позволяет формировать не только общепрофессиональные, но и профессиональные компетенции, необходимые для осуществления производственно-технологической деятельности. В целом изучение данной дисциплины направлено на изучение важнейших закономерностей химико-технологического процесса, и, что не менее

важно, должно дать навыки анализа и оценки химического производства, представление о способах управления химико-технологическими процессами, а задания для самостоятельной работы включают уже и профессиональный контекст.

В рамках задания студенту предлагают провести термодинамический анализ и построить кинетическую модель химической реакции, которая положена в основу реально существующего крупнотоннажного процесса в нефтехимической промышленности или промышленности основного органического синтеза.

*Пример 4.* Для реакции  $\text{CH}\equiv\text{CH} + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_2=\text{CHCl}$  рассчитать основные термодинамические функции и константу равновесия для заданного температурного интервала [10]:

Температурный интервал, °C: 0-300; шаг изменения температуры, °C: 30.

1 этап – постановка задачи. Проведение термодинамического анализа реакции заключается в расчёте основных термодинамических функций и константы равновесия для исследуемой химической реакции в заданном температурном интервале.

2 этап – поиск способов решения. При расчете используют формулы примера 3, а также следующие зависимости:

$$\Delta S_{r,T} = \Delta S_{298}^0 + \Delta a \cdot \ln\left(\frac{T}{298}\right) + \Delta b \cdot (T - 298) + \frac{\Delta c}{2} \cdot (T^2 - 298^2) + \Delta c' \cdot \left(\frac{1}{298^2} - \frac{1}{T^2}\right)$$

$$\Delta G_{r,T}^0 = \Delta H_{r,T}^0 - T \cdot \Delta S_{r,T}^0$$

$$K_p = e^{-\frac{\Delta G_{r,T}^0}{R \cdot T}}$$

Приведенные закономерности уже знакомы студенту из предшествующих курсов, также им освоены навыки работы с таблицами стандартных термодинамических величин.

3 этап – поиск и анализ результатов. Результаты расчетов термодинамических функций и константы равновесия представляют в виде табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов термодинамических функций и константы равновесия

T, K	$\Delta H_T^0$ Дж/моль	$S_T^0$ , Дж/(моль·K)	$\Delta G_T^0$ Дж/моль	lnKp	Kp
273	-171528,99	-122,65	-138046	60,82	2,594E+26
303	-171736,87	-123,65	-134271	53,30	1,406E+23
333	-171831,52	-124,15	-130488	47,13	2,946E+20
363	-171809,83	-124,25	-126707	41,98	1,712E+18
393	-171668,65	-124,00	-122937	37,63	2,19E+16
423	-171404,84	-123,45	-119185	33,89	5,227E+14
453	-171015,26	-122,64	-115459	30,66	2,06E+13
483	-170496,76	-121,60	-111766	27,83	1,223E+12

513	-169846,20	-120,34	-108110	25,35	1,019E+11
543	-169060,42	-118,90	-104497	23,15	1,129E+10
573	-168136,29	-117,28	-100933	21,19	1,590E+09

Анализ полученных результатов заключается в следующем: студент делает вывод о том, является ли данная реакция в данном температурном интервале экзотермической или эндотермической, самопроизвольной или не самопроизвольной, увеличивается или убывает константа равновесия. Такая информация позволяет определить оптимальный температурный интервал для проведения этого процесса. Для данного примера реакция во всем температурном интервале является экзотермической ( $\Delta H_T < 0$ ); протекает самопроизвольно ( $\Delta G_T < 0$ ); с повышением температуры константа равновесия уменьшается, но при этом даже при высоких температурах составляет значительную величину. Следовательно, определить оптимальную температуру процесса, основываясь только на расчете термодинамических функций, нельзя. Для окончательного выбора температуры необходимо провести кинетические расчеты.

Кинетические расчеты осуществляют с целью получения кинетической модели изучаемой реакции. Полученная кинетическая модель используется для расчета химических реакторов. Исходя из зависимостей концентрации вещества от времени  $c = f(\tau)$  и константы скорости реакции от времени  $k = f(\tau)$ , получают идеализированную кинетическую модель процесса в форме уравнения:

$$v_r = (k_0 e^{-\frac{E_{акт}}{RT}}) \cdot C_i^{n_i}$$

Для нахождения порядка реакции используют зависимость концентрации от времени. При этом применяют два метода: графический и интегральный. Для нахождения энергии активации  $E_{акт}$  используют графический и аналитический методы.

Подобные исследования являются неотъемлемым элементом при анализе и оценке химико-технологического процесса. Кроме того, делая вывод о полученных результатах, студент должен совокупно оценить влияние термодинамических и кинетических факторов на выбор оптимальных условий проведения процесса.

### **Заключение**

В работе продемонстрировано, что интегрированный междисциплинарный компетентностный подход является одним из направлений повышения качества образования высшей школы. Такой подход позволяет получить знания, умения и навыки, необходимые в производственно-технологической деятельности, а также некоторых жизненных ситуациях.

Предложенный подход позволяет проектировать образовательные результаты целенаправленной подготовки студентов направления 18.03.02 «Энерго- и

ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» в их профессиональной деятельности. Приобретенные знания и навыки позволят быть конкурентоспособными на рынке труда в современной экономической ситуации.

### Список литературы

1. Энерго- и ресурсосберегающие процессы [Электронный ресурс]. URL: [http://www.volpi.ru/vht/vht\\_abitur/o\\_abitur](http://www.volpi.ru/vht/vht_abitur/o_abitur) (дата обращения 01.08.2018).
2. Об утверждении Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии (уровень бакалавриата): Приказ от 12 марта 2015 г. № 227 [Электронный ресурс]. URL: <http://fgosvo.ru> (дата обращения 20.06.2018).
3. Устойчивое развитие вуза на основе стратегии повышения качества образовательного процесса: монография / Гагаринская Г.П., Живицкая Е.Н., Калмыкова О.Ю. и др. Самара: ФГБОУ ВПО «СамГТУ»; НОУ ВПО «ПИБ», 2011. 295 с.
4. Иванова Т.В. Методика преподавания химии в техническом вузе // Педагогическое образование и наука. 2011. №10. С.100-102.
5. Компетентный подход в педагогическом образовании: коллективная монография / Под редакцией проф. В.А.Козырева, проф. Н.Ф. Радионовой, проф. А.П. Тряпицыной. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2006. 392 с.
6. Шорова Ж.И., Тхакушинова А.Т., Темзокова А.В. К вопросу о реализации компетентного подхода при обучении химическим дисциплинам в вузе // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 4. С. 280-284.
7. Ясюкевич Л.В., Бычек И.В. Диагностическая программа мониторинга учебной деятельности студентов // Актуальные проблемы химического образования в средней и высшей школе: сб. трудов конф. (Витебск, 25-26 апреля 2016 г.). Витебск: Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, 2016. С.339-341.
8. Панюшкина С.С., Панюшкина О.А., Перевалова Е. А. «Входной контроль»: от теории к практике // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 4-5. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=16600> (дата обращения: 18.07.2018).
9. Зорина Г.И., Курунина Г.М., Синьков А.В., Бутов Г.М. Многовариантные задачи и тесты по химической термодинамике: учеб. пособ. (гриф). Доп. УМО вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ). Волгоград: ВПИ (филиал) ВолГТУ. 2012. 151 с.



10. Бутов Г.М., Иванкина О.М. Расчёты химико-технологических процессов: учеб. пособие. Волгоград: ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2016. 64с.