

СОСТАВЛЕНИЕ ЗАДАЧ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТУРА ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ

Апярй В.В., Архангельская О.В., Долженко В.Д., Теренин В.И.

Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Важная роль во Всероссийской олимпиаде школьников (ВОШ) по химии отводится экспериментальному туру. В отличие от туров теоретических, он, с одной стороны, позволяет оценить навыки выполнения школьниками эксперимента по химии, что важно для квалифицированного химика-практика, с другой стороны – является элементом мотивирования школьника и повышения его интереса к химии как науке. В этом смысле особой спецификой должны обладать задачи экспериментального тура, претворяя в жизнь оба вышеупомянутых аспекта. При этом составляющая, связанная с оценкой навыков работы школьников в лаборатории, должна реализовываться, по возможности, технически простым путём и допускать максимально объективное оценивание. В то же время, мотивирующая составляющая задачи может быть основана на визуально интересных химических эффектах, возможности применить на практике разнородные навыки и познания или на внутренней логике и постановке задачи.

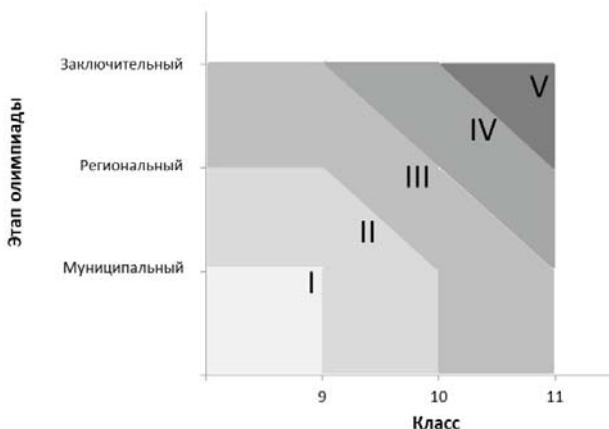
В настоящей статье на примере опыта проведения Всероссийских олимпиад школьников по химии делается попытка охарактеризо-

вать основные принципы составления и структуру задач экспериментального тура.

Принципы составления задач экспериментального тура

Выбор тематики задач

При выборе тематики задач можно опираться на их классификацию по основным разделам и подразделам химии [1]. Условно все темы можно разбить на пять уровней сложности, а их распределение по классам и этапам олимпиады разумно представить в виде следующей диаграммы:



Здесь номера I–V соответствуют уровню сложности темы в порядке увеличения. Каждый следующий этап олимпиады для каждого следующего класса охватывает все предыдущие уровни сложности плюс тот, который отвечает положению соответствующей точки на диаграмме. Например, муниципальный этап для 10 класса (равно как и региональный этап для 9 класса) включает в себя темы с уровнем сложности I и II, тогда как заключительный этап для 10 класса (а также региональный этап для 11 класса) уже может содержать темы I, II, III и IV уровней сложности.

Сами темы, отвечающие тому или иному уровню сложности, систематизируем в таблице 1.

Таблица 1

Уровни сложности тем экспериментальных заданий ВОШ по химии

Уровень сложности	Тема
I	<ul style="list-style-type: none"> • Приготовление растворов веществ. Смешивание, разбавление, выпаривание растворов. • Фильтрация на бумажном фильтре. • Взвешивание на технических весах. • Измерение объёма жидкости с помощью мерного цилиндра. • Реакции в пробирке. Простейшие варианты обнаружения веществ по характерным признакам и реакциям. • Определение реакции среды с помощью кислотно-основных индикаторов. • Нагревание с помощью горелки и электрической плитки
II	<ul style="list-style-type: none"> • Качественные реакции на катионы и анионы. • Количественное отделение, промывание и высушивание (на фильтре, в эксикаторе или сушильном шкафу) осадков. • Взвешивание на аналитических весах. • Приготовление раствора точной концентрации в мерной колбе. Взятие аликвоты раствора. Измерение объёма жидкости с помощью бюретки. • Расчёты по уравнениям химических реакций
III	<ul style="list-style-type: none"> • Перекристаллизация веществ из водных растворов. • Общие принципы синтеза в колбе. Использование мешалки и капельной воронки. • Кислотно-основное и окислительно-восстановительное титрование. Стандартизация. • Цветовые переходы индикаторов при кислотно-основном титровании. • Прямое, обратное и косвенное титрование
IV	<ul style="list-style-type: none"> • Групповые реакции на катионы и анионы. Разделение осадка и надосадочной жидкости для последующего анализа. • Идентификация элементов по окрашиванию пламени. • Комплексонометрическое и осадительное титрование.

Уровень сложности	Тема
	<ul style="list-style-type: none">• Измерение рН-метром.• Визуальная колориметрия.• Работа с водоструйным насосом. Фильтрование на воронке Бюхнера
V	<ul style="list-style-type: none">• Идентификация основных функциональных групп органических соединений.• Количественный анализ с помощью реакций осаждения.• Количественный волюметрический анализ.• Колоночная хроматография. Бумажная тонкослойная хроматография.• Фотоколориметрия.• Синтез в колбе с дефлегматором. Перегонка жидкостей при нормальном давлении.• Жидкостно-жидкостная экстракция

Данное деление, несомненно, условно и может до некоторой степени меняться в зависимости от доступных ресурсов для проведения экспериментальных работ и материального обеспечения мероприятия, уровня образования школьников в целом и требуемой степени их дифференциации.

Первый из трёх упомянутых факторов имеет иногда существенное значение, особенно для регионов и муниципалитетов, обеспеченность ресурсами которых, к сожалению, сильно разнится. Поэтому при составлении задач экспериментального тура эта особенность должна приниматься во внимание, о чём речь пойдет далее.

Выбор реактивов и оборудования

С учётом обсуждённых выше уровней сложности тем, а также экономической целесообразности, можно попытаться составить примерный набор реактивов и оборудования для проведения экспериментального тура олимпиады. Он определяется, в основном, востребованностью данных реактивов на практике, их хорошей известностью школьникам, а также сочетанием ярко выраженных, характерных аналитических эффектов при проведении взаимодействий с участием

этих веществ. Этот набор включает кислоты, основания, соли, индикаторы и органические вещества, указанные в таблице 2.

Таблица 2

Типичный набор реактивов для проведения экспериментального тура ВОШ по химии

Тип реактива	Характерные представители
Кислоты	HCl, H ₂ SO ₄ , H ₃ PO ₄
Основания	NaOH, NH ₃ ·H ₂ O
Соли	Na ₂ CO ₃ , Na ₃ PO ₄ , Na ₂ HPO ₄ , Na ₂ S ₂ O ₃ , Na ₂ SO ₃ , NaNO ₂ , KI, K ₂ Cr ₂ O ₇ , BaCl ₂ , CaCl ₂ , MgSO ₄ , NH ₄ Cl, AlCl ₃ , ZnSO ₄ , CuSO ₄ , FeCl ₃ , AgNO ₃ , Pb(CH ₃ COO) ₂
Индикаторы	Метилловый оранжевый, фенолфталеин, крахмал
Органические вещества	Уксусная кислота, щавелевая кислота, лимонная кислота, аскорбиновая кислота, салициловая кислота, фенол, гидрохинон, анилин, <i>n</i> -аминофенол, глицерин, глюкоза

Реактивы, как правило, выдаются участникам в виде 0,05–0,2 М (количественный анализ) или 0,5–2 М (качественный анализ) водных растворов (за исключением индикаторов).

Поскольку наиболее простыми и дешёвыми в реализации задачами являются качественный «пробирочный» анализ и количественный анализ методами титриметрии, то характерный набор оборудования для проведения экспериментального тура можно представить в таблице 3.

Таблица 3

Типичный набор оборудования для проведения экспериментального тура ВОШ по химии

Тип оборудования	Характерные представители
Склянки и другие ёмкости	Пробирки (на 10–15 мл), склянки с крышками для реактивов (на 50–100 мл), мерные колбы (на 100,0 мл), колбы для титрования (на 100–200 мл), мерные цилиндры (на 10–100 мл), стаканы (на 100–200 мл), капельницы, промывалки
Оборудование для дозирования жидкости	Пипетки Пастера/глазные пипетки, пипетки Мора (на 10,00 мл), бюретки (на 25–50 мл)

Тип оборудования	Характерные представители
Вспомогательное оборудование	Штативы для пробирок, штативы для титрования, воронки
Нагревательное оборудование	Водяные бани, электроплитки или песчаные бани

Основные требования к задачам

Экспериментальный тур Всероссийской олимпиады школьников по химии подразумевает не только наличие определённых навыков работы в лаборатории, но и знание теории, помогающее интерпретировать и прогнозировать результаты опытов. С учётом этого можно попытаться сформулировать определённые требования к задачам [2].

1. Задания должны охватывать основные разделы курса химии соответствующего класса, базироваться на пройденном к моменту проведения олимпиады материале и освоенных навыках работы в лаборатории, включая факультативный курс.

2. Задания призваны дать возможность школьникам продемонстрировать ясность понимания основных законов химии, умение творчески применять их для достижения цели, сообразительность, правильные навыки экспериментальной работы.

3. Задания, по возможности, должны включать межпредметные связи. Это способствует пониманию роли и места химии в нашей жизни и среди других наук, таких как физика, биология и т. д.

4. При составлении заданий необходимо представлять себе сложность следующего этапа олимпиады, чтобы получить оптимальный уровень трудности задания и учесть преемственность между разными этапами олимпиады.

5. Желательно, чтобы условия заданий, кроме требования быть интересными и поучительными, были связаны с реальными процессами в природе и технике, отражали связь химии с жизнью. Это способствует развитию активного интереса у учащихся к предмету.

Структура задач экспериментального тура

За долгие годы функционирования Всероссийской олимпиады школьников по химии в практике проведения её экспериментального

тура сложилась определённая характерная структура задач, максимально соответствующая вышеуказанным требованиям [3]. Рассмотрим её на примере задачи для 10 класса, представленной на регистральном этапе 2020 года. Задача разбита на структурные блоки, которые будут обсуждены ниже (табл. 4).

Таблица 4

Экспериментальная задача и её структура

Блок	Содержание блока
Постановочная часть	<p>Органические кислоты, такие как уксусная ($K_a = 1,75 \cdot 10^{-5}$) и щавелевая ($K_{a,1} = 5,6 \cdot 10^{-2}$, $K_{a,2} = 5,4 \cdot 10^{-5}$), широко используются в промышленности и в быту. Поэтому важно уметь определять содержание этих веществ в растворах, что может быть сделано методом кислотно-основного титрования</p>
Теоретический блок	<p>Теоретическое задание</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Напишите реакции, протекающие при титровании CH_3COOH и $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ раствором NaOH с индикатором фенолфталеин (область перехода $\text{pH} = 8 \div 10$). 2. Объясните, почему для этих целей не применяют индикатор метиловый оранжевый (область перехода $\text{pH} = 3,4 \div 4,4$)? 3. Для каждой из двух кислот в общем виде выведите формулу, связывающую её массу (m) в колбе объёмом V_k с объёмом NaOH (V_{NaOH}), пошедшим на титрование аликвоты этого раствора V_a, если молярная концентрация щёлочи равна c_{NaOH}. Молярную массу кислоты обозначьте $M_{\text{CH}_3\text{COOH}}$ или $M_{\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}$, соответственно
Практический блок	<p>Практическое задание</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. С использованием выданных Вам реактивов и оборудования определите содержание каждой из кислот (m, g) в выданных Вам колбах
Блок предоставляемых ресурсов	<p>Реактивы</p> <p>NaOH (стандартный раствор, концентрация указана на склянке), индикатор фенолфталеин (область перехода $\text{pH} = 8 \div 10$)</p> <p>Оборудование</p> <p>Бюретка в штативе, пипетка Мора (10,00 мл), колбы для титрования 1–3 шт., воронка для бюретки</p>

Методический блок	<p>Методика титрования</p> <p>Растворы кислот, полученные в мерных колбах, доводят до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают.</p> <p>Бюретку через воронку заполняют стандартным раствором NaOH. С помощью пипетки Мора переносят в колбу для титрования аликвотную часть анализируемого раствора кислоты (10,0 мл), добавляют 2 капли индикатора фенолфталеина и титруют раствором NaOH до изменения окраски раствора из бесцветной в розовую, устойчивую в течение не менее 30 секунд.</p> <p>Для установления точной концентрации кислоты титрование повторяют до достижения трёх результатов, отличающихся не более чем на 0,1 мл. Эти результаты усредняют и записывают средний объём титранта (мл) в рабочую тетрадь. По полученным данным рассчитывают массу (z) каждой из кислот в колбах</p>
-------------------	--

Назначения указанных блоков различны. Так, *постановочная часть*, с одной стороны, предоставляет участнику информацию (иногда в неявном виде), требуемую для решения задачи или облегчающую понимание сути происходящих в ходе эксперимента процессов. С другой стороны (в идеале) постановочная часть призвана заинтересовать школьника, например, подчеркнув актуальность темы задачи, или в игровой форме привлечь его внимание к рассматриваемой проблеме. Этот блок не следует делать слишком большим, чтобы не вызывать обратный эффект.

Теоретический блок задачи включает вопросы теории, непосредственно связанные с проблематикой темы. В идеале, его назначение – «подвести» участника к пониманию сути происходящих в ходе выполнения эксперимента химических явлений, намекнуть на некоторые особенности его выполнения. Этот блок может апеллировать как к отвлеченным знаниям, так и к условиям задачи, включая перечень предоставленных реактивов или информацию, приведённую в методической части.

Практический блок – это формулировка сути экспериментального задания. Его особенностью должна быть чёткость и однозначность.

На первый взгляд, *блок предоставляемых ресурсов* может показаться избыточным, ведь на своём рабочем месте участник видит предоставленные ему реактивы и оборудование, и, следовательно, задача может быть решена даже в отсутствие этой части. Но здесь следует сказать, что введение данного блока всё же желательно, поскольку, во-первых, приучает школьника к структурированию информации при работе в лаборатории, во-вторых, даёт возможность сверить комплектность рабочего места с требуемой, исключив таким образом случайное отсутствие какого-либо реактива или оборудования по вине организаторов или соседей по столу.

Наконец, *методический блок* призван сообщить полную информацию о методике проведения работы и/или способах обработки полученной в ходе её выполнения информации, когда догадаться об этих особенностях самому участнику затруднительно.

Структура системы оценивания

Отдельно следует обсудить систему оценивания задач экспериментального тура, поскольку она в решающей степени определяет адекватность оценки навыков работы и знаний участника, а в конечном счёте – и степень его удовлетворённости олимпиадой.

Рассмотрим систему оценивания для взятого примера экспериментальной задачи для 10 класса. Она также может быть разбита на блоки (табл. 5).

Таблица 5

Система оценивания экспериментальной задачи ВОИШ по химии

Показатель	Критерии оценивания	
Оценка знания теории	1. Уравнения реакций – 2 уравнения по 1 б	2 балла
	2. Обоснование невозможности использования метилового оранжевого	2 балла
	3. Вывод формул – 2 формулы по 2 б	4 балла

Показатель	Критерии оценивания																																				
Оценка выполнения эксперимента	<p>4. а) <i>Точность титрования</i> оценивается, исходя из абсолютной погрешности среднего объема титранта, записанного участником (ΔV, мл), то есть разницы между величиной среднего объема титранта, полученной участником, и ожидаемым значением, в соответствии со следующей таблицей:</p> <table border="1" data-bbox="333 408 944 687"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="333 408 490 437">Определение CH_3COOH</th> <th colspan="2" data-bbox="496 408 944 437">Определение $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$</th> </tr> <tr> <th data-bbox="333 445 490 474">ΔV, мл</th> <th data-bbox="496 445 641 474">Баллы</th> <th data-bbox="647 445 792 474">ΔV, мл</th> <th data-bbox="798 445 944 474">Баллы</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="333 477 490 499">$\leq 0,1$</td> <td data-bbox="496 477 641 499">15</td> <td data-bbox="647 477 792 499">$\leq 0,1$</td> <td data-bbox="798 477 944 499">15</td> </tr> <tr> <td data-bbox="333 502 490 531">0,1 – 0,2</td> <td data-bbox="496 502 641 531">14</td> <td data-bbox="647 502 792 531">0,1 – 0,2</td> <td data-bbox="798 502 944 531">14</td> </tr> <tr> <td data-bbox="333 534 490 563">0,2 – 0,3</td> <td data-bbox="496 534 641 563">12</td> <td data-bbox="647 534 792 563">0,2 – 0,3</td> <td data-bbox="798 534 944 563">12</td> </tr> <tr> <td data-bbox="333 566 490 595">0,3 – 0,4</td> <td data-bbox="496 566 641 595">10</td> <td data-bbox="647 566 792 595">0,3 – 0,4</td> <td data-bbox="798 566 944 595">10</td> </tr> <tr> <td data-bbox="333 598 490 627">0,4 – 0,5</td> <td data-bbox="496 598 641 627">8</td> <td data-bbox="647 598 792 627">0,4 – 0,5</td> <td data-bbox="798 598 944 627">8</td> </tr> <tr> <td data-bbox="333 630 490 659">0,5 – 1,0</td> <td data-bbox="496 630 641 659">6</td> <td data-bbox="647 630 792 659">0,5 – 1,0</td> <td data-bbox="798 630 944 659">6</td> </tr> <tr> <td data-bbox="333 662 490 691">$> 1,0$</td> <td data-bbox="496 662 641 691">4</td> <td data-bbox="647 662 792 691">$> 1,0$</td> <td data-bbox="798 662 944 691">4</td> </tr> </tbody> </table> <p>б) <i>Правильность расчёта</i> массы кислоты (оценивается, исходя из среднего объема титранта, полученного участником, безотносительно точности титрования – 2 значения по 1 б) 2 балла</p>	Определение CH_3COOH		Определение $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$		ΔV , мл	Баллы	ΔV , мл	Баллы	$\leq 0,1$	15	$\leq 0,1$	15	0,1 – 0,2	14	0,1 – 0,2	14	0,2 – 0,3	12	0,2 – 0,3	12	0,3 – 0,4	10	0,3 – 0,4	10	0,4 – 0,5	8	0,4 – 0,5	8	0,5 – 1,0	6	0,5 – 1,0	6	$> 1,0$	4	$> 1,0$	4
Определение CH_3COOH		Определение $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$																																			
ΔV , мл	Баллы	ΔV , мл	Баллы																																		
$\leq 0,1$	15	$\leq 0,1$	15																																		
0,1 – 0,2	14	0,1 – 0,2	14																																		
0,2 – 0,3	12	0,2 – 0,3	12																																		
0,3 – 0,4	10	0,3 – 0,4	10																																		
0,4 – 0,5	8	0,4 – 0,5	8																																		
0,5 – 1,0	6	0,5 – 1,0	6																																		
$> 1,0$	4	$> 1,0$	4																																		
Суммарный балл	ИТОГО 40 баллов																																				
Штрафные баллы	В случае, если участнику понадобится дополнительное количество реактива, долив реактива (того же варианта!) производится один раз без штрафа, в последующих случаях – со штрафом 2 балла																																				

Первый блок подразумевает *оценку знания теории*, предоставляемую по итогам выполнения теоретической части задания. Вклад в итоговый балл этой части обычно не превышает 30%, поскольку теоретическая часть задания, хотя и связана с его экспериментальной частью, но основной задачей экспериментального тура всё-таки является оценивание именно практической составляющей «химической образованности» участника. При составлении системы оценивания баллы за ответы на вопросы этого блока следует расшифровывать весьма подробно, чтобы минимизировать субъективный фактор при оценивании этой части членом жюри. Следует помнить, что отдельно

предусмотренного показа работ и апелляций за экспериментальный тур, как правило, не бывает. Все разногласия решаются «на месте», поэтому важна максимальная «прозрачность» оценивания этой части.

Кроме того, нужно помнить, что теоретические вопросы/расчёты и экспериментальная работа оцениваются отдельно. Следует, например, по возможности исключить ситуацию, когда неправильно выполненный эксперимент приводит к ошибочному ответу на теоретический вопрос или когда ошибки в расчётах (например, при установлении концентрации методом титрования) приводят к заниженной оценке за выполнение практической части. Правильный результат оценивается при любом разумном пути к ответу.

Второй блок предназначен для оценки собственно *экспериментальной работы* участника. В случае титрования оценивается точность его выполнения. На долю этого критерия приходится 60–80% от суммарного балла за задачу. Чтобы исключить возможность влияния на результат анализа неправильно выведенной формулы или ошибок в расчётах, проводится сравнение величины, которая в данном эксперименте является первичной – объёма титранта. Для качественного анализа, как правило, критерием является число верно идентифицированных компонентов в пробирках (что обычно составляет 50–70% от суммарного балла). Для задач химического синтеза такой величиной может быть выход целевого продукта при условии доказательства его чистоты. Следует отметить, что справедливое оценивание задач этого типа может вызывать ряд сложностей, связанных с оценкой чистоты полученного препарата, которая может быть подтверждена постоянством массы при высушивании, значением температуры плавления (для органических веществ и некоторых кристаллогидратов солей) или каким-то другим параметром, позволяющим доказать чистоту препарата (разумно вклад этого критерия определить на уровне 40–50% от всех баллов за задачу).

При составлении системы оценивания желательно предусмотреть так называемый «утешительный» балл, то есть ненулевой минимальный балл, который участник получит даже в случае полностью

неверно выполненного эксперимента. На эту величину разумно отнести примерно 20% от суммарного балла за задачу (в вышеприведённом примере утешительный балл равен 8, он проставляется при погрешности титрования более 1,0 мл для случая каждой из определяемых кислот).

Наряду с оценкой навыков экспериментальной работы, эта часть может предусматривать оценку за сделанные наблюдения, написанные уравнения проведённых реакций, изучение свойств продуктов и другие позиции, составляющие описательную часть эксперимента. В зависимости от задачи, вклад этой части может достигать 30–50% от суммарного балла за эту задачу.

Следующий блок – это собственно *суммарный балл за задачу*. В целом, экспериментальный тур оценивается числом баллов, примерно составляющим 40% от суммарного числа баллов за теоретические туры. Это объясняется тем, что оценка за экспериментальный тур формируется, исходя из результата личной беседы участника с членами жюри. Такой формат оценивания всегда более субъективен, чем проверка зашифрованной работы по итогам теоретического тура, и поэтому экспериментальный тур разумно оценивать ниже.

Наконец, последний блок предусматривает *штрафные баллы*, которые снимаются с участника за грубое нарушение техники работы. К таким нарушениям можно отнести потерю рабочего раствора в результате его нерационального расходования или пролива, порчу реактивов или оборудования. На этот блок не следует закладывать большое число баллов (не больше 10 % от суммарного балла за эксперимент), его основная задача не «нажиться» на неудаче школьника, а мотивировать участника работать аккуратно и разумно.

Грамотно составленные и структурированные задачи экспериментального тура являются важным залогом успешно проведённой олимпиады, влияющим на удовлетворенность школьников её итогами. А именно это, и даже не соревновательный аспект, является, по мнению авторов, главным.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Архангельская О.В., Тюльков И.А.* Примерная программа содержания Всероссийской химической олимпиады школьников / М.: ЦПМК ВСОШ по химии, 2009. – 52 с.

2. *Аяри В.В., Архангельская О.В., Теренин В.И.* Опыт организации экспериментального тура всероссийских химических олимпиад // Естественнонаучное образование: химический эксперимент в высшей и средней школе. Методический ежегодник химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Т. 16. 2020 / под общ. ред. проф. Г.В. Лисичкина. – М.: Изд-во Московского университета, 2020. – С. 162–173.

3. *Теренин В.И., Саморукова О.Л., Архангельская О.В., Аяри В.В., Ильин М.А.* Задачи экспериментального тура Всероссийской олимпиады школьников по химии. – М.; Екатеринбург: ООО Универсальная Типография «Альфа Принт», 2019.