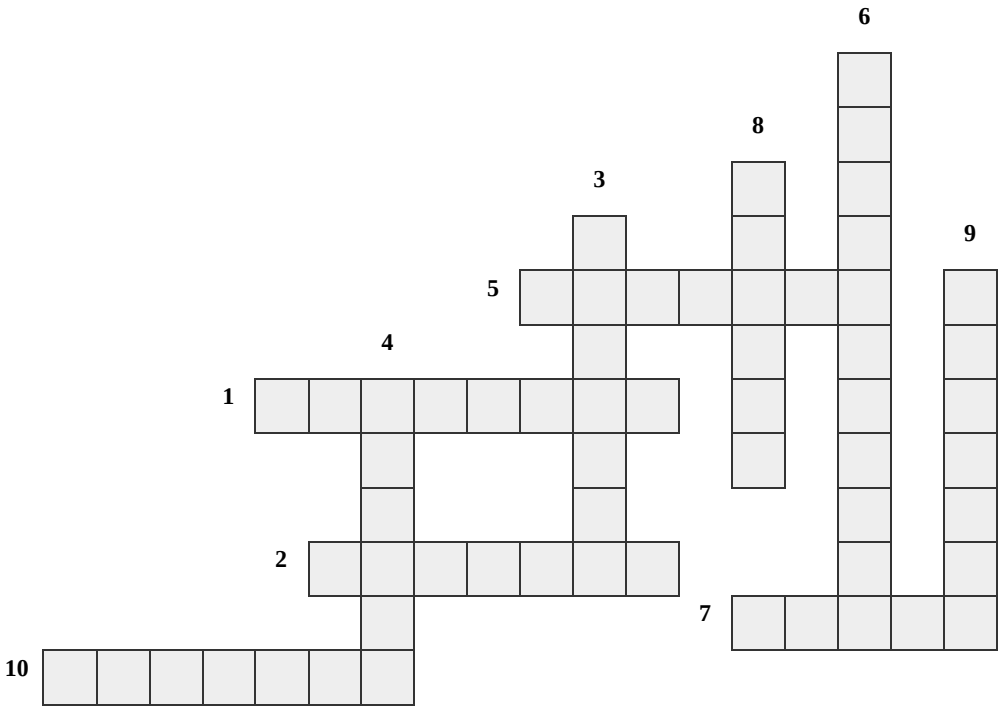
# Большая олимпиада Росхим

## по химии и химической технологии

2024-2025 учебный год
Задания отборочного этапа
11 класс

### Задача 1. Кроссворд

В этом задании мы предлагаем вам разгадать кроссворд, посвященный компании АО «Росхим» и химическому производству.



1. Торговое название 37% раствора формальдегида — продукта предприятия «Метафракс Кемикалс», использующегося как дезинфицирующее средство.
2. Название соды, гидрокарбоната натрия, производимой «Башкирская содовая компания», применяющейся в быту и в кулинарии.
3. Тривиальное название для соединений, содержащих нитраты щелочных, щелочноземельных металлов и аммоний, используемые в качестве удобрений, производятся предприятием «Минудобрения».
4. Высокоэластичный искусственный материал, получаемый в результате вулканизации натурального или синтетического каучука.
5. Простейший представитель одноатомных спиртов, крупнейшим производителем которого в России является «Метафракс Кемикалс».
6. Вещество, увеличивающие скорость химической реакции, но не расходующиеся в процессе реакции.
7. Железно-сульфидный минерал, являющийся сырьем для производства серной кислоты.
8. Основной вид транспортного топлива, производимого предприятием «Газпром нефтехим Салават».
9. Анион глауберовой соли, получаемой на предприятии «Кучуксульфат».
10. Бытовое отбеливающее средство, являющиеся продуктом предприятия «Каустик» и получаемое растворением некоторого галогена в щелочи.

**Задача 2. Хлор**

Ознакомьтесь с видео из серии «Уроки химии с Росхим», посвященным хлору. Одним из продемонстрированных способов его получения является реакция концентрированной соляной кислоты с перманганатом калия *(реакция 1)*. Хлор — активное вещество, и в нём горит разогретая железная проволока с образованием бурого дыма хлорида железа (III) *(реакция 2)*. Данную реакцию используют для получения безводного продукта, поскольку при попытке обезвоживания гексагидрата хлорида железа (III) при нагревании образуется соединение **А** с массовой долей железа 70 %.

1. Рассчитайте объём раствора соляной кислоты с концентрацией 34 % и плотностью 1,17 г/мл, необходимый для заполнения колбы объёмом 250 мл (н.у.) выделяющимся в ходе реакции с перманганатом калия хлором. *Ответ выразите в мл, округлив до десятых.* Определите массу хлорида железа (III), которую можно получить из данного объёма хлора. *Ответ выразите в г, округлив до десятых.* Приведите формулу соединения **А.**

Промышленным способом получения хлора, реализованным на производстве АО «Башкирская содовая компания», является электролиз раствора поваренной соли *(реакция 3)*. Побочные продукты этого процесса — 32 % водный раствор соединения **Б** и лёгкий газ **В**. Раствор **Б** направляют на кристаллизацию для получения одного из товарных продуктов, использующегося в быту для устранения засоров в канализационных трубах. Газ **В** частично сжигают для получения тепла, а частично вводят в реакцию с хлором для получения вещества **Г** *(реакция 4)*.

***2.*** Приведите формулу соединений **Б**-**Г**. Вычислите, какую массу соединения **Б** можно получить за год при электролизе раствора поваренной соли на одной установке, если установка имеет 150 электрохимических ячеек, каждая из которых работает при силе тока 16,2 кА 24 часа в сутки. Годовой фонд рабочего времени установки принять 310 дней (с учётом времени планово-предупредительных ремонтов). Для расчёта воспользуйтесь законом Фарадея для электролиза: $m = \frac{M \cdot I \cdot t}{F \cdot z}$, где m — масса вещества (г), F = 96485 $\frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$ — постоянная Фарадея, z — количество электронов в электрохимической реакции на один ион вещества, M —молекулярная масса вещества ($\frac{\text{г}}{\text{моль}}$), I — сила тока (A), t — время (c). *Ответ выразите в тысячах тонн, округлив до целых.*

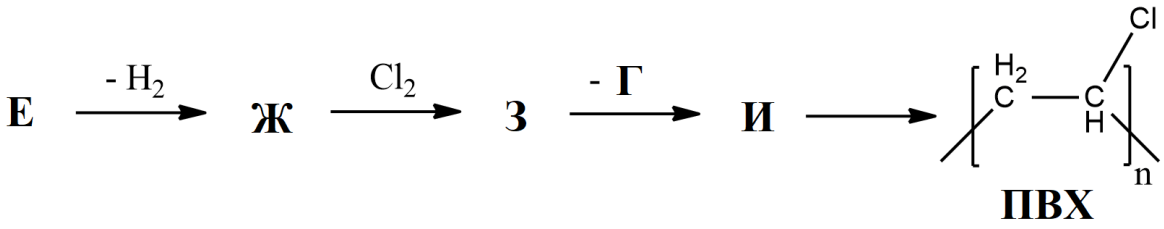
Вследствие протекающих побочно электрохимических реакций отработанный раствор поваренной соли содержит некоторое количество хлората натрия — для того чтобы вернуть раствор в производственный цикл, к нему добавляют соединение **Г** и осуществляют разложение хлората с образованием хлора *(реакция 5)*. Для нейтрализации остаточного количества растворённого хлора добавляется раствор сульфита натрия, в ходе реакции образуются соединения **Д** и **Г** *(реакция 6)*.

**3.** Приведите сумму минимально возможных целочисленных коэффициентов в уравнении *реакции 5*. Приведите формулу соединения **Д**.

Наиболее крупным потребителем производимого хлора является производство поливинилхлорида, применяющегося для создания труб, проводов, оконных рам, линолеума. Его производство осуществляется на предприятии АО «БСК» и включает в себя следующие этапы:

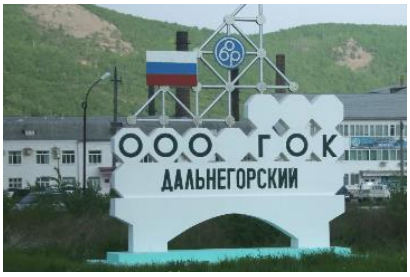
1) Дегидрирование углеводорода **Е —** продукта переработки нефти, имеющего плотность 15 по водороду. В результате чего образуется вещество **Ж** — самый многотоннажный продукт нефтехимического синтеза.

2) Соединение **Ж** подвергают хлорированию с получением вещества **З**, которое подвергается пиролизу с получением веществ **И** и **Г**, далее соединение **И** отправляют на полимеризацию суспензионным способом.




4. Приведите структуру соединений **Е-И**.

**Задача 3. Борная кислота**




Предприятие ООО «Дальнегорский ГОК» АО «Росхим» является единственным в России производителем борной кислоты. Борная кислота применяется при изготовлении эмалей, пигментов, цементов, флюсов, ингибиторов коррозии, огнезащитных составов.

Производство АО «Росхим» получает борную кислоту из минерала датолита $CaBSi(OH)_4$ его реакцией с концентрированной серной кислотой, при этом также образуется осадок сульфата **А** и гелеобразная кислота **Б** *(реакция 1)*. Серную кислоту получают на производстве в несколько этапов:

1) Сжигают серу в кислороде с образованием газа **В** *(реакция 2)*.
2) Получают газ **Г** окислением газа **В** кислородом на ванадиевом катализаторе *(реакция 3)*.
3) Растворяют газ **Г** в концентрированной серной кислоте, которую далее разбавляют с получением серной кислоты требуемой концентрации *(реакция 4)*.

**1.** Приведите структурную формулу борной кислоты.

**2.** Приведите формулы соединений **А-Г.**

**3.** Разбавление раствора **Г** в серной кислоте водой — сильно экзотермический процесс, количество выделяющегося тепла при образовании 95 % раствора серной кислоты равно 17,4 ккал на 1 моль соединения **Г**. Поэтому цех проводит рекуперацию избыточного тепла для подогрева воды системы горячего водоснабжения, мощность данного процесса в среднем составляет 7,5 гкал/час. Вычислите массу соединения **Г**, которое растворяют за один час для получения заявленной мощности. *Ответ выразите в тоннах, округлив до десятых.*

Другим промышленным способом получения борной кислоты является обработка кристаллогидрата **Д** сильной неорганической кислотой, например, серной (*реакция 5*).

4. Определите формулу минерала **Д**, если известно, что массовые доли бора, натрия и кислорода в нём равны 11,33 %, 12,07 %, 71,35 % соответственно. *Формулу кристаллогидрата укажите по примеру: Na2SO4*6H2O.* Приведите сумму минимально возможных целочисленных коэффициентов в уравнении *реакции 5*.

В быту растворы 3% борной кислоты в 70 % этиловом спирте применяются в качестве антисептика и как противозудное средство. Для определения концентрации борной кислоты в растворе используют титриметрический метод. Так как борная кислота — слабая, то для того чтобы усилить её кислотные свойства, сначала к раствору борной кислоты добавляют глицерин, при этом образуется комплекс **Е** с молекулярной массой 191,8 г/моль (*реакция 6)*. После чего раствор титруют раствором едкого натра с образованием соли **Ж,** имеющей однозарядный анион (*реакция 7)***.**

5. Приведите брутто-формулу соединений **Е-Ж** в виде $C_xH_yO_zB_nNa_m$**.**
6. На титрование 20,0 мл аликвоты раствора борной кислоты в присутствии фенолфталеина было затрачено 9,7 мл раствора гидроксида натрия, имеющего концентрацию 0,500 моль/л. Плотность раствора считайте равной 1 г/мл. Вычислите массовую долю борной кислоты в исследуемом растворе. *Ответ выразите в процентах (%), округлив до десятых.*

Боргидрид натрия $Na[BH_4]$ является популярным восстановителем в органическом синтезе. В промышленности его получают реакцией эфира **З** и соединения **И** (*реакция 8)*. Вещество **З** синтезируют взаимодействием борной кислоты с избытком метанола (*реакция 9*), а соединение **И** получают реакцией натрия с водородом (*реакция 10).*

7. Определите соединение **И**. Приведите структурную формулу соединения **З** и продуктов взаимодействия боргидрида натрия с ацетоном — **К**, бутаналем — **Л** и хлорангидридом уксусной кислоты — **М**.

Основное применение боргидрида натрия в промышленности — производство соединения **Н**, которое используется в качестве отбеливающего агента древесной массы.

8. Определите соединение **Н**, если согласно стехиометрии реакции, для получения 1 кг вещества в раствор, содержащий избыток гидроксида натрия, необходимо добавить 54,3 г боргидрида натрия и пропустить через него 257,5 л (н.у.) газа **В**. Масса побочных продуктов — метабората натрия $NaBO_2$ и воды при этом составит 94,5 г и 155,2 г соответственно.

# Большая олимпиада Росхим

**по химии и химической технологии**

2024-2025 учебный год
Решения отборочного этапа
11 класс

## Задача 1. Кроссворд

1. Формалин
2. Пищевая
3. Селитра
4. Резина
5. Метанол
6. Катализатор
7. Пирит
8. Бензин
9. Сульфат
10. Белизна

***Система оценивания:***

1. Ответы *по 1 баллу* **10 баллов**

**ИТОГО 10 баллов**

**Задача 2. Хлор**

1. Количество хлора при н.у. равно
$n(O_2) = \frac{V(O_2)}{22,4} = \frac{0,25}{22,4} = 0,01116$ моль.

Согласно стехиометрии реакции соляной кислоты с перманганатом калия $2KMnO_4 + 16HCl \rightarrow 2KCl + 2MnCl_2 + 5Cl_2 + 8H_2O$ *(реакция 1)*,

$n(HCl) = \frac{16}{5} \cdot n(Cl_2) = \frac{16}{5} \cdot 0,01116 = 0,03571$ моль.

Откуда, масса соляной кислоты равна

$m(HCl) = n(HCl) \cdot M(HCl) = 0,03571 \cdot 36,5 = 1,3$ г

Тогда объём раствора соляной кислоты равен

$V_{\text{р}-\text{ра}}(HCl) = \frac{m(HCl)}{\omega(HCl) \cdot \rho_{\text{р}-\text{ра}}(HCl)} = \frac{1,3}{0,34 \cdot 1,17} = 3,3$ мл

Согласно стехиометрии реакции железа с хлором

$2Fe + 3Cl_2 \rightarrow 2FeCl_3$ *(реакция 2),*

$n(FeCl_3) = \frac{2}{3} \cdot n(Cl_2) = \frac{2}{3} \cdot 0,01116 = 7,44 \cdot 10^{-3}$ моль.

Откуда, масса хлорида железа (III) равна

$m(FeCl_3) = n(FeCl_3) \cdot M(FeCl_3) = 7,44 \cdot 10^{-3} \cdot 162,5 = 1,2$ г.

Если нам известно, что при нагревании гексагидрата хлорида железа (III) не образуется хлорид, то можем предположить, что образуется оксид, гидроксид, оксохлорид или гидроксохлорид железа (III), или продукт смешанного состава. Составим таблицу с молекулярной массой соединения **А**, зависящей от n — количества атомов железа в соединении **А**, исходя из массовой доли железа 70 %, $M(A) = \frac{n \cdot M(Fe)}{\omega(Fe)}$.

| n | M(A) | M(A) – n·M(Fe) | Возможное соединение |
|---|---|---|---|
| 1 | 80 | 24 | - |
| 2 | 160 | 48 | $Fe_2O_3$ |
| 3 | 240 | 72 | - |
| 4 | 320 | 96 | - |

Таким образом, очевидно, что **А** — $Fe_2O_3$.

2. Реакция электролиза раствора поваренной соли
$2NaCl + 2H_2O \longrightarrow H_2\uparrow + 2NaOH + Cl_2\uparrow$ *(реакция 3).*

Откуда **Б** — NaOH, а газ **В** — $H_2$.

При реакции $H_2$ с $Cl_2$ образуется соединение **Г**— HCl.

$H_2 + Cl_2 \longrightarrow 2HCl$

Согласно электрохимической полуреакции $2H_2O + 2\bar{e} \longrightarrow H_2 + 2OH^-$, на образование 2 ионов $OH^-$ необходимо 2 электрона, следовательно, z = 1.

Тогда масса NaOH, которую можно получить за год на одной электрохимической ячейке, равна

$$m_{\text{ячейки}}(\text{NaOH}) = \frac{M(\text{NaOH}) \cdot I \cdot t}{F \cdot z} = \frac{40 \cdot 16200 \cdot 310 \cdot 24 \cdot 3600}{96485 \cdot 1} = 1{,}9 \cdot 10^8 \text{ г}$$

А масса NaOH, которую можно получить с одной установки, имеющей 150 электрохимических ячеек, равна

$$m(\text{NaOH}) = 150 \cdot m_{\text{ячейки}}(\text{NaOH}) = 2{,}7 \cdot 10^{10} \text{ г} = 27 \text{ тыс. тонн}$$

3. Реакция взаимодействия хлората калия с соединением Г:
$NaClO_3 + 6HCl \rightarrow 3Cl_2 + NaCl + 3H_2O$ *(реакция 5).*

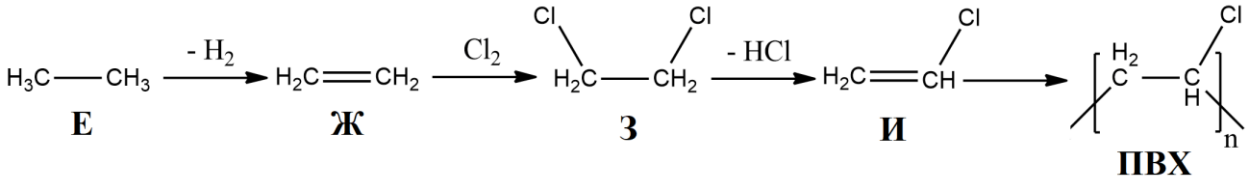
   Сумма минимально возможных целочисленных коэффициентов равна 14.

   Реакция хлора с сульфитом натрия:

   $Na_2SO_3 + H_2O + Cl_2 \rightarrow Na_2SO_4 + 2HCl$ *(реакция 6).*

   Следовательно, **Д** — $Na_2SO_4$.

4. Так как вещество **Е** имеет плотность 15 по водороду, то его молекулярная масса равна $M(\text{E}) = 15 \cdot M(H_2) = 15 \cdot 2 = 30 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$. Однозначно, **Е** — этан. Соответственно, **Ж** — этен, **З** — 1,2-дихлорэтан, **И** — винилхлорид.



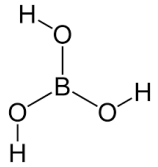

**Е** **Ж** **З** **И** **ПВХ**

***<u>Система оценивания:</u>***

1. Объём раствора HCl *2 балла* **5 баллов**
   Масса $FeCl_3$ *1 балл*
   Формула соединения **А** *2 балла*
2. Формулы соединения **Б-Г** *по 1,5 балла* **6 баллов**
   Масса NaOH *3 балла*
3. Сумма коэффициентов в реакции 5 *2 балла* **3 балла**
   Формула соединения **Д** *1 балл*
4. Структуры соединений **Е-И** *по 1,5 балла* **6 баллов**

**ИТОГО 20 баллов**

**Задача 3. Борная кислота**

1. 

Формула борной кислоты $H_3BO_3$, борная кислота — трехосновная.
2. **А** – $CaSO_4$, **Б** – $H_2SiO_3$, **В** – $SO_2$, **Г** – $SO_3$
$CaBSiO_4(OH) + H_2SO_4 + H_2O \rightarrow CaSO_4 + H_3BO_3 + H_2SiO_3$ (*реакция 1*)
$S + O_2 \rightarrow SO_2$ (*реакция 2*)
$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$ (*реакция 3*)
$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ *(реакция 4)*
3. Найдем количество вещества Г и его массу:
$\mathrm{n}(\Г) = \frac{7{,}5\cdot 10^9 \text{ кал}}{17400 \text{ кал}} = 431034{,}5 \text{ моль}$
$m(\Г) = n(\Г) \cdot M(\Г) = \frac{431034{,}5\cdot 80}{10^6} = 34{,}5 \text{ тонн}$
4. Найдём соотношение элементов в соединении **Д**.
$n(B) : n(Na) : n(O) : n(H) = \frac{\omega(B)}{M(B)} : \frac{\omega(Na)}{M(Na)} : \frac{\omega(O)}{M(O)} : \frac{\omega(H)}{M(H)} =$
$= \frac{0{,}1133}{11} : \frac{0{,}1207}{23} : \frac{0{,}7135}{16} : \frac{0{,}0525}{1} = 0{,}0103 : 0{,}00525 : 0{,}0446 : 0{,}0525 =$
$= 2 : 1 : 8{,}5 : 10 = 4 : 2 : 17 : 20$

Откуда формула **Д** – $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$

$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O + H_2SO_4 \rightarrow 4H_3BO_3 + Na_2SO_4 + 5H_2O$ (*реакция 5*)

Сумма коэффициентов 12.

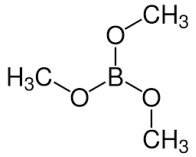
5. **Е** – $C_6H_{13}O_6B$, **Ж** – $C_6H_{12}O_6BNa$
$H_3BO_3 + 2C_3H_8O_3 \rightarrow C_6H_{13}O_6B + 3H_2O$ *(реакция 6)*
$C_6H_{13}O_6B + NaOH \rightarrow C_6H_{12}O_6BNa + H_2O$ *(реакция 7)*
6. Количество гидроксида натрия, израсходованное на титрование борной кислоты, равно
$n(NaOH) = V_{\text{р–ра}}(NaOH) \cdot c_{\text{р–ра}}(NaOH) = 0{,}0097 \cdot 0{,}5 = 4{,}85 \cdot 10^{-3}$ моль.
Согласно стехиометрии *реакций 6-7*, количество борной кислоты в 20,0 мл аликвоте равно $n(H_3BO_3) = n(NaOH) = 4{,}85 \cdot 10^{-3}$ моль. Тогда масса борной кислоты равна

$m(H_3BO_3) = n(H_3BO_3) \cdot M(H_3BO_3) = 4{,}85 \cdot 10^{-3} \cdot 62 = 0{,}3$ г

Откуда, массовая доля борной кислоты в исследуемом растворе равна

$\omega(H_3BO_3) = \frac{m(H_3BO_3)\cdot 100\ \%}{m_{\text{р–ра}}(H_3BO_3)} = \frac{m(H_3BO_3)\cdot 100\ \%}{V_{\text{р–ра}}(H_3BO_3)\cdot \rho_{\text{р–ра}}(H_3BO_3)} == \frac{0{,}3}{20\cdot 1} \cdot 100\ \% = 1{,}5\ \%.$

7. Реакцией борной кислоты с избытком метанола образуется тризамещённый метиловый эфир борной кислоты **З** – $B(OCH_3)_3$.



$H_3BO_3 + 3CH_3OH \rightarrow B(OCH_3)_3 + 3H_2O$ *(реакция 9)*

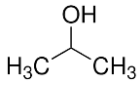
Реакцией натрия с водородом образуется **И** – NaH.

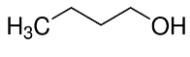
$2Na + H_2 \rightarrow 2NaH$ *(реакция 10)*

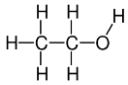
Реакцией взаимодействия **И** и **З** образуется боргидрид натрия.

$4NaH + B(OCH_3)_3 \rightarrow NaBH_4 + 3CH_3ONa$ *(реакция 8)*

Боргидрид натрия восстанавливает карбонильные соединения до гидроксильных. Таким образом, продуктами реакции взаимодействия боргидрида натрия с кетонами и альдегидами будут спирты.

**К** – пропанол-2 

**Л** – бутанол-1 

**М** – этанол 

8. Согласно закону сохранения массы, масса продуктов равна массе реагентов,
$m(NaOH) + m(NaBH_4) + m(SO_2) = m(NaBO_2) + m(H_2O) + m(\boldsymbol{H})$
Следовательно, масса прореагировавшего гидроксида натрия равна
$m(NaOH) = m(NaBO_2) + m(H_2O) + m(\boldsymbol{H}) - m(NaBH_4) - m(SO_2)$

Найдём количество и массу $SO_2$

$n(SO_2) = \frac{V(SO_2)}{V_m} = \frac{257,5}{22,4} = 11,5$ моль

$m(SO_2) = n(SO_2) \cdot M(SO_2) = 11,5 \cdot 64 = 735,7$ г

Откуда, $m(NaOH) = 94,5 + 155,2 + 1000 - 54,3 - 735,7 = 459,7$ г

Найдём количество всех веществ в реакции:

$n(NaBH_4) = \frac{m(NaBH_4)}{M(NaBH_4)} = \frac{54,3}{38} = 1,43$ моль

$n(NaBO_2) = \frac{m(NaBO_2)}{M(NaBO_2)} = \frac{94,5}{66} = 1,43$ моль

$n(H_2O) = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{155,2}{18} = 8,62$ моль

$n(NaOH) = \frac{m(NaOH)}{M(NaOH)} = \frac{459,7}{40} = 11,5$ моль

Найдем соотношение веществ в реакции

$$n(SO_2):n(NaOH):n(NaBH_4):n(NaBO_2):n(H_2O) =$$

$$= 11{,}5 : 11{,}5 : 1{,}43 : 1{,}43 : 8{,}62 = 8 : 8 : 1 : 1 : 6$$

Запишем уравнение, согласно найденному соотношению.

$8NaOH + NaBH_4 + 8SO_2 \rightarrow \mathbf{H} + NaBO_2 + 6H_2O$

Тогда, учитывая равенство числа атомов каждого элемента в продуктах и реагентах, на соединение **H** приходится 8Na, 8S, 16O, что соответствует соединению $Na_2S_2O_4$ со стехиометрическим коэффициентом 4.

**H** — $Na_2S_2O_4$

$8NaOH + NaBH_4 + 8SO_2 \rightarrow 4Na_2S_2O_4 + NaBO_2 + 6H_2O$

***<u>Система оценивания:</u>***

| | |
|---|---|
| 1. За верную формулу | **1 балл** |
| 2. За каждую верную формулу | **по 1 баллу** |
| *Всего за пункт* | **4 балла** |
| 3. За верный расчёт | **2 балла** |
| 4. За верную формулу | **2 балла** |
| За верную сумму коэффициентов | **1 балл** |
| *Всего за пункт* | **3 балла** |
| 5. За каждую верную формулу | **по 1 баллу** |
| *Всего за пункт* | **2 балла** |
| 6. За верный расчет | **2 балла** |
| 7. За каждую верную формулу | **по 1 баллу** |
| *Всего за пункт* | **5 баллов** |
| 8. За верную формулу | **1 балл** |
| **ИТОГО** | **20 баллов** |