

# СХЕМА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРА-ХИМИКА\*

А. Г. АМЕЛИН

(Кафедра Общей химической технологии Московского химико-технологического института им. Д. И. Менделеева)

Поступило 20. июня 1981 г.

Представлено проф. д-р. И. Себени

Подготовка инженера-химика осуществляется на основе трех групп дисциплин (рис 1): общетеоретических, химико-технологических и специальных. Химико-технологических дисциплин две — Процессы и аппараты (Пр. апп.) и Общая химическая технология (ОХТ).

В курсе Пр. апп. студенты изучают физические процессы: механические, гидродинамические, тепловые, массообменные. В курсе ОХТ изучаются наиболее сложные и многообразные химические процессы [1].

Таким образом, главные дисциплины, на основе которых осуществляется технологическая подготовка инженера-химика является Пр. апп., ОХТ и специальные дисциплины. Поэтому большое методическое значение имеет уточнение содержания этих дисциплин, а также та последовательность, в которой студент должен знакомиться с закономерностями химической технологии. Это важно еще и потому, что в настоящее время результаты многочисленных исследований в области химической технологии, а также широкое внедрение

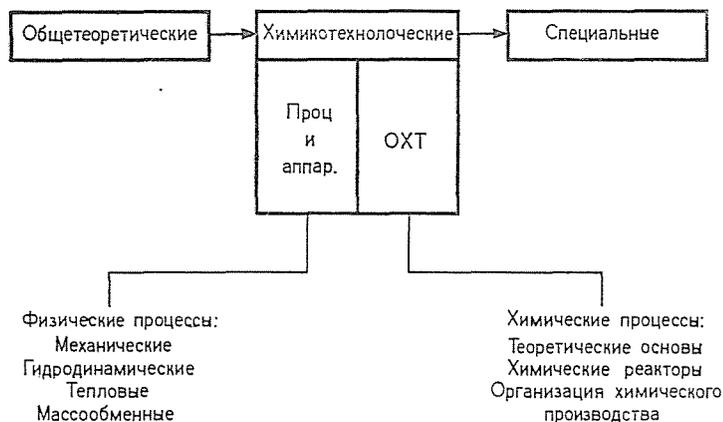


Рис. 1. Основные дисциплины при подготовке инженера-химика

\* Доклад на III. конференции химико-технологических кафедр социалистических стран. Балатонфюред 14—18 апреля 1980 г.

математического моделирования в сочетании с вычислительной техникой обеспечивают возможность более глубокого научного подхода к разработке химического производства.

Следует сказать также, что курс ОХТ из описательного становится строгой научной дисциплиной, поэтому указанные положения имеют сейчас особо важное значение.

Порядок изучения химического производства (ХПр) складывается из нескольких этапов. На 1-ом этапе (рис. 2) в курсах неорганической, органической и физической химии изучаются особенности химических реакций (ХР), на основе которых оформлено ХПр.

На 2-ом этапе в курсе Пр. апп. изучаются закономерности тепло- и массообмена (ТМ), от чего зависят температура и концентрация реагирующих веществ в зоне реакции и, следовательно, зависит скорость химической реакции.

На 3-ем этапе в курсе ОХТ изучаются химический процесс (ХП), в котором на химическую реакцию накладывается тепло- и массообмен. Таким образом, скорость ХП зависит от скорости ХР и скорости процессов тепло- и массообмена.

Чтобы наглядно представить особенности ХП, рассмотрим простую экзотермическую химическую реакцию, протекающую по уравнению:



Процесс состоит в том (рис. 3), что газообразный реагент А диффундирует из турбулентного потока через пограничный слой газа толщиной  $\delta$  к твердой поверхности  $\text{B}_T$  и вступает с ней в химическое взаимодействие. При этом обра-

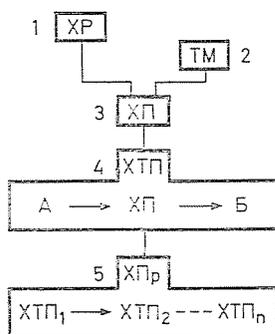


Рис. 2. Последовательность изучения химического производства: 1 — ХР — химическая реакция, изучается в курсах неорганической, органической и физической химии; 2 — ТМ — тепло- и массообмен, изучается в курсе Процессы и аппараты; 3 — ХП — химический процесс, изучается в курсе ОХТ; 4 — ХТП — химико-технологический процесс, изучается в курсе ОХТ; 5 — ХПр — химическое производство, изучается в специальных дисциплинах и в курсе ОХТ; А — подготовка сырья, изучается в курсе Процессы и аппараты; Б — разделение продуктов реакции, изучается в курсе Процессы и аппараты

зуется газообразный продукт  $R_T$  и выделяется тепло, которое передается теплопроводностью через пограничный слой газа турбулентного потока.

Если ХР первого порядка, то ее скорость можно выразить так

$$r_T = k_0 e^{-E/RT} c_{A,T} = W \tag{2}$$

где —  $c_{A,T}$ ,  $T_T$  — концентрация исходного реагента А и температура реакционной смеси у твердой поверхности, т. е. в зоне реакции;

$W$  — скорость ХП

Но определить экспериментально  $c_{A,T}$  и  $T_T$  практически невозможно, поэтому приведенное уравнение (2) не может быть непосредственно использовано для расчета скорости ХП. В связи с этим на практике используют различные способы для определения  $W$ . Например, исходя из значений  $A_{A,z}$  и  $T_z$  по уравнениям тепло- и массообмена рассчитывают  $c_{A,T}$  и  $T_T$  после чего уже нетрудно определить  $W$ .

Однако точность таких расчетов невелика ввиду их сложности, поэтому на практике обычно скорость ХП рассчитывают по уравнению для скорости ХР, в котором используются значения температуры и концентрации реагирующих веществ в основном потоке газа и вводят поправочный множитель

$$W = r_T = r_T \gamma = k_0 e^{-E/RT_z} c_{A,z} \gamma \tag{3}$$

где  $\gamma$  — множитель, учитывающий несоответствие между параметрами в зоне реакции и в основном потоке реакционной смеси.

Поскольку во всех случаях  $c_{A,z} > c_{A,T}$  а в экзотермических реакциях  $T_z < T_T$  и в эндотермических реакциях —  $T_z > T_T$ , то следует ожидать, что для экзотермических реакций  $\gamma > 1$ , а для эндотермических —  $\gamma < 1$ .

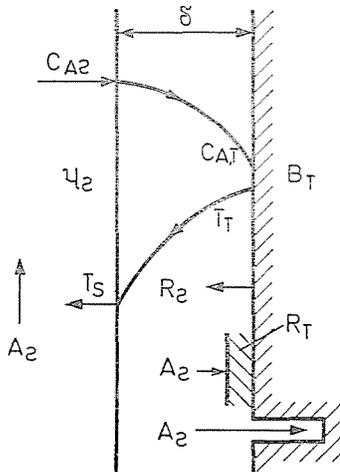


Рис. 3. Схема химического процесса по реакции  $A_T + B_T \rightarrow R_T + Q$

В рассматриваемом случае множитель  $\gamma$  существенно зависит от условий тепло- и массообмена.

$$\gamma = f(\alpha, \beta) \quad (4)$$

где  $\alpha, \beta$  — коэффициенты тепло- и массообмена.

С увеличением скорости газового потока  $\delta$  уменьшается, потому можно записать

$$W \rightarrow \infty; \delta \rightarrow 0; \alpha \rightarrow \infty; \beta \rightarrow \infty.$$

где  $W$  — скорость газового потока.

В этом случае среда становится однородной и, следовательно,  $\gamma \rightarrow 1$ , а процесс протекает в кинетической области.

Если в рассматриваемой реакции получаемый продукт представляет собой твердое вещество  $R_T$ , которое откладывается на поверхности исходного реагента  $B_T$ , то множитель  $\gamma$  должен содержать параметры, отражающие скорость внутренней диффузии исходного реагента  $A_2$  через слой вещества  $R_T$ . Если же твердый реагент  $B_T$  является пористым веществом, и ХР протекает на его внутренней поверхности, как это имеет место в гетерогенном катализе, то содержание множителя еще более осложняется.

Скорость ХП, оформленного на основе гомогенных реакций также отличается от скорости ХР, рассчитанной по температуре реакционной смеси в реакторе и концентраций исходных реагентов в этой смеси, так как во всех промышленных реакторах эти параметры неодинаковы по его объему.

Таким образом, при выводе математических моделей промышленных реакторов кинетическим уравнением должно служить уравнение скорости химического процесса [(уравнение (3)], которое имеет весьма сложное содержание за счет множителя  $\gamma$ . Этим объясняется, что определению значения этого множителя уделяется основное внимание в многочисленных и весьма разнообразных исследованиях, направленных на разработку методов расчета реакторов. Поскольку  $\gamma$  определяется экспериментально, то это затрудняет получение достаточно строгих математических моделей, удобных для обработки их на ЭВМ.

Так как ХП осуществляется в реакторе, то в курсе ОХТ изучаются методы расчета химических реакторов.

Таким образом, основное внимание в курсе ОХТ должно быть уделено изучению закономерностей, которым подчиняются химические процессы, и разработке методов расчета химических реакторов, поскольку этим определяется научный подход к разработке ХПр.

На 4-ом этапе в курсе ОХТ изучается ХТП, который включает в себя ХП и технологические операции: подготовку сырья А и разделение продуктов реакции Б (Рис. 2). Операции А и В осуществляются в результате проведения физических процессов, изучаемых в курсе Пр. апп. (2).

На 5-ом этапе на специальных кафедрах студенты изучают особенности ХПр, которое состоит из одного или нескольких ХТП. Например, производство серной кислоты состоит из 3-х ХТП (рис. 4). В органической технологии ХПр состоит из нескольких, а иногда из многих ХТП.

На этом этапе в курсе ОХТ студенты изучают только общие принципы построения ХПр на основе теоретических данных, полученных ими на всех предыдущих этапах, а также получают представление о построении энерго-технологического и безотходного производства и о некоторых других общих вопросах.

Из приведенных данных видно, что для изучения ХПр используется системный подход [3], когда химическое производство рассматривается как большая химико-технологическая система (ХТС), химико-технологический процесс — как малая ХТС, а подготовка сырья А, химический процесс, и разделение продуктов реакции Б — как подсистема (рис. 4).

Изучение ХПр, как ХТС, предусматривает ознакомление студентов с приемами составления математических моделей процессов, протекающих на каждом этапе. Эти модели усложняются от первого этапа к последующим. Наиболее сложной является математическая модель всего ХПр в целом: системный подход облегчает составление этой модели, поскольку она включает в себя модели всех этапов.

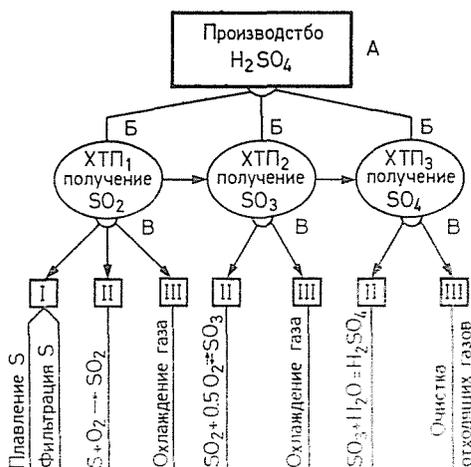


Рис. 4. Производство серной кислоты, как химико-технологическая система: I — подготовка сырья, II — химическая реакция, III — разделение продуктов реакции, А — большая ХТС, Б — малые ХТС, В — подсистемы

### Резюме

В статье изложено и примером показано последовательность и содержание общетеоретических, химико-технологических и специальных дисциплин при подготовке химика-инженера в Московском Химико-технологическом институте им. Д. И. Менделеева. Порядок изучения химического производства складывается из 5-и этапов, из которых курс общей химической технологии из описательного становится строгой научной дисциплиной, использующей вычислительную технику.

### Литература

1. Н. М. Жаворонков — «Наука и жизнь», № 4, 1970.
2. Н. М. Жаворонков, А. Г. Амелин, ТОХТ, ХШ, № 4, 433 (1979).
3. В. В. Кафаров — Методы кибернетики в химии и химической технологии, М., «Химия», 1976.

Проф. д-р А. Г. Амелин  
Кафедра общей  
Химической технологии Московского  
Химико-Технологического института  
им. Д. И. Менделеева, Москва, СССР  
Москва А-47, Миусская пл. д. 9.