

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт

Энерго- и ресурсосберегающие технологии

Методические указания

к практическим занятиям для студентов ЗФО направления
15.03.02 Технологические машины и оборудование

Невинномысск, 2020

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования в части содержания и уровня подготовки выпускников направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

В указаниях дано понятие ресурсов и эффективность их использования, теоретические основы составления материального и теплового балансов и методика выполнения работ, перечень контрольных вопросов для самоподготовки по теме работ и список рекомендуемой литературы.

Методические указания рассмотрены на заседании кафедры ХТМиАХП и рекомендованы к внутривузовскому изданию.

Составил доц. А.Л. Проскурнин

Рецензент: доц. А.И. Свидченко

Пояснительная записка	4
Практическое занятие 1 Тема «ПОНЯТИЕ РЕСУРСОВ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ»	6
1.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.....	6
Практическое занятие 2 «РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА»	29
2.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.....	29
2.2 ЗАДАНИЯ	31
2.3 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	32
2.3.1 Методика составления материального баланса	32
2.3.2 Использование таблицы Excel для вывода данных в документе MathCAD	32
2.3.3 Оператор суммирования элементов вектора.....	35
2.4 ПРИМЕР РАСЧЕТА МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА.....	36
2.5 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ.....	41
Практическое занятие 3 «РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА»	42
3.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.....	42
3.2 ЗАДАНИЯ	43
3.3 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	43
3.3.1 Методика составления теплового баланса	43
3.3.2 Использование в документе MathCAD внешних файлов	45
Ссылка на файлы MathCAD	45
Ввод данных из файлов Excel	46
3.4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА	49
3.5 ПРИМЕР РАСЧЕТА ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА	50
3.6 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ.....	54
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	54

Пояснительная записка 4

Задачей дисциплины «Энерго- и ресурсосберегающие технологии» является подготовка специалиста, владеющего навыками грамотного проектирования и эксплуатации современного химического производства, представляющего собой совокупность технологических процессов и соответствующего технологического и теплоэнергетического оборудования.

Экономия материальных и топливно-энергетических ресурсов относится к важнейшим задачам современной техники. Развитие так называемой энергосберегающей технологии определяет одно из главных направлений научно-технического прогресса и в химической технологии. В этой области техники расходуется около 15% всех энергоресурсов. Во многих химических производствах расход энергии составляет основную часть затрат. Кроме того, топливные ресурсы – нефть, каменный уголь, природный газ – являются одновременно сырьём для получения ряда продуктов химического синтеза. Поэтому необходимо создавать технологии, обеспечивающие комплексное использование этого сырья для производства вещества и энергии.

Производство любого продукта химической промышленности осуществляется по определённой технологии. Технология представляет совокупность технологических процессов, осуществляемых в определённой последовательности, оборудования для их проведения и средств управления процессами, позволяющими осуществить превращение исходных веществ в продукты. Технологический процесс – целенаправленное воздействие на перерабатываемые вещества, приводящее к изменению их качественных показателей. Химическое предприятие в качестве ресурсов потребляет различные виды сырья.

Минимально необходимое для достижения цели количество ресурсов определяется на основании материальных и тепловых балансов для каждой технологической стадии.

На практических занятиях⁵ студенты знакомятся с расчетами показателей эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, составлением материальных и тепловых балансов.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен овладевать следующими общепрофессиональными и профессиональными компетенциями или их частями:

ПК-12 – способностью участвовать в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции, проверять качество монтажа и наладки при испытаниях и сдаче в эксплуатацию новых образцов изделий, узлов и деталей выпускаемой продукции;

ПК-15 – умением выбирать основные и вспомогательные материалы, способы реализации технологических процессов, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении технологических машин.

Практическое занятие 1

Тема «ПОНЯТИЕ РЕСУРСОВ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ»

Цель: приобретение практических навыков в расчете эффективности использования материальных ресурсов;

1.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Необходимым условием организации производства продукции является обеспечение его материальными ресурсами: сырьем, материалами, топливом, энергией, полуфабрикатами и т.д.

Показатели эффективности использования материальных ресурсов, делятся на **обобщающие** и **частные**.

К обобщающим показателям относятся: материалоемкость продукции, материалотдача, удельный вес материальных затрат в себестоимости продукции, коэффициент использования материальных ресурсов.

Частные показатели материалоемкости используются для характеристики эффективности потребления отдельных видов материальных ресурсов, а также для определения уровня материалоемкости отдельных изделий.

Обобщающие показатели дают общую оценку эффективности использования материальных ресурсов по предприятию в целом. **Частные показатели** дают более подробную информацию и используются для характеристики потребления отдельных элементов материальных ресурсов: сырья, основных и вспомогательных материалов, полуфабрикатов, топлива, энергии по ее видам и т.д. Также частные

показатели применяются для установления путей снижения материалоемкости отдельных изделий (удельной материалоемкости).

Показатели эффективности использования материальных ресурсов зависят от того, как протекает химический процесс в реакторе. Поэтому вначале рассмотрим показатели работы реакторов

1.1.1 Классификация химических реакторов

Аппараты, в которых протекает химико-технологический процесс (ХТП), называются **химическими реакторами**.

В промышленности используют тысячи различных химических реакторов, характеризующихся конструктивными особенностями, режимами протекания процессов.

В каждом реакторе можно выделить реакционную зону (реакционный объем), в которой непосредственно осуществляется химический процесс и через которую проходят потоки реагентов.

Учитывая, что конструкция реакторов должна обеспечивать заданный гидродинамический и температурный режим потока, именно характерные свойства потока определяют многообразие реакторов и положены в основу классификации реакторов.

По **временному** фактору все реакторы разделяются на:

- а) непрерывнодействующие;
- б) периодические;
- в) полунепрерывные.

По **гидродинамическому** режиму реакторы непрерывного действия подразделяются на:

- а) реакторы вытеснения;
- б) реакторы смешения;
- в) реакторы промежуточного режима.

По **температурному** режиму реакторы разделяются на:

- а) адиабатические;
- б) изотермические;

в) политермические. 8

Конструктивные особенности реакторов определяются также фазовым состоянием реагирующих компонентов и термодинамическими параметрами протекания ХТП, т.е. температурой и давлением.

1.1.2 Анализ процессов в химических реакторах

При проведении анализа протекания химико-технологического процесса в реакторе исследуют влияние условий процесса и характеристик (свойств) его составляющих на показатели работы реактора, а также выявляют особенности работы и режима.

Условия процесса – состав исходной реакционной смеси (начальные концентрации реагентов), величина поступающего потока (нагрузка на реактор), температура входного потока, температура хладагента (для процессов с теплоотводом) или в реакторе (для изотермического процесса).

Свойства составляющих процесса – характеристики химического процесса: схема превращения и тип реакций (вид кинетических уравнений), энергия активации, тепловой эффект; для неизотермических процессов – параметры теплоотвода (коэффициент теплоотдачи, поверхность теплообмена, теплофизические свойства реактантов).

Показатели работы реакторов – технологические: степень превращения, селективность, выход продукта, а также профили концентраций, степени превращения и температуры в реакторе, их изменение во времени. Зная эти показатели, можно далее определить и другие: конструктивные параметры реактора, энергетические затраты, экономические характеристики и пр.

Особенности процесса и режима – влияние условий и свойств процесса на его показатели, управление процессом (изменение условий и свойств для достижения желаемых показателей),

критические режимы (например, ³их существование, неустойчивость).

Анализ протекания процесса в реакторе проводят, как правило, с использованием метода математического моделирования.

1.1.3 Основные показатели работы реакторов

Основные показатели работы реакторов условно разделяют на:

- а) технологические;
- б) конструктивные;
- в) энергетические;
- г) эксплуатационные;
- д) экономические.

К **конструктивным** характеристикам реактора относятся объем реакционной зоны или катализатора, диаметр и высота аппарата, наличие встроенных теплообменников, характер потока и др.

Энергетические показатели работы реакторов характеризуют затраты энергии на преодоление гидравлического сопротивления потоком реагирующих веществ и на их перемешивание, а также эффективность использования теплоты, подводимой в реактор для проведения эндотермических процессов или выделяющейся при протекании экзотермических процессов.

К **эксплуатационным характеристикам** относят легкость управления и обеспечения устойчивого режима и безопасности работы реактора. Эти характеристики зависят от конструктивного совершенства реактора, которое определяет также его ремонтоспособность.

Экономические характеристики реактора определяют стоимость его изготовления и монтажа, а также затраты на проведение ремонтных работ.

1.1.4 Технологические показатели работы реакторов

К технологическим характеристикам работы реакторов можно отнести:

- а) производительность реактора;
- б) интенсивность реактора;
- в) показатели ХТП, протекающего в реакторе.

Производительностью Π называют количество выработанного продукта G или переработанного сырья за единицу времени τ (кг/ч, т/ч, т/сут)

$$\Pi = \frac{G}{\tau} \quad (1)$$

В ряде производств количество выработанного продукта измеряют его объемом V_{Π} , тогда размеренность Π будет м³/ч или м³/сут

$$\Pi = \frac{V_{\Pi}}{\tau} \quad (2)$$

Увеличение размеров и повышение производительности работы аппаратов приводит, как правило, к экономии металла в расчете на единицу реакционного объема, снижению эксплуатационных расходов, расходных коэффициентов по сырью, повышению производительности труда.

Однако увеличение объема аппарата без значительного усложнения его конструкции возможно лишь до некоторого предела и уже достигнутого в ряде крупномасштабных систем. Поэтому много эффективнее повышение производительности аппаратов за счет интенсификации их работы.

Интенсивностью работы аппарата I называется производительность, отнесенная к какой-либо величине, характеризующей размеры аппарата, – его объему (V), площади поперечного сечения (S) и т.д.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{G_{II}}{\tau \cdot V} \quad \text{или} \quad I = \frac{P}{S} = \frac{G_{II}}{\tau \cdot S}. \quad (3)$$

Интенсивность измеряется в кг/(ч·м³), т/(сут·м³), кг/(ч·м²) и т.д.

Интенсификация работы реакторов достигается двумя путями:

- 1 улучшением конструкции аппарата;
- 2 совершенствованием технологического процесса в аппаратах данного вида.

Интенсивность работы реактора пропорциональна скорости процесса, поэтому, изучая кинетику технологического процесса, стремятся создать такую конструкцию реактора и технологический режим в нем, которые обеспечили бы максимальную скорость процесса.

Основными технологическими путями интенсификации работы реакционных аппаратов являются изменения температуры, давления и концентраций реагирующих веществ в сочетании с применением катализаторов и улучшением массообмена.

1.1.5 Технологические показатели химико-технологического процесса

Для оценки эффективности отдельных этапов химического процесса используются такие критерии эффективности, как степень превращения исходного реагента, селективность, выход продукта, которые отражают физико-химическую сущность процесса, протекающего в реакторе.

Степень превращения

Степень превращения (глубина превращения, степень конверсии) показывает полноту использования сырья по всем направлениям.

Степень превращения – это доля исходного реагента, использованного на химический процесс. Она определяется как

отношение количества (массы,¹²объема) одного из реагентов, вступившего в реакцию, к начальному количеству (массе, объему) этого реагента.

Например, для реакции



степень превращения реагента A определяется по уравнению

$$x_A = \frac{n_A^0 - n_A}{n_A^0} = \frac{|\Delta n_A|}{n_A^0}, \quad (5)$$

где n_A^0 – количество реагента A в исходной реакционной смеси, кмоль; n_A – количество реагента A в реакционной смеси, выходящей из аппарата, кмоль; Δn_A – изменение количества реагента A в ходе химической реакции.

Степень превращения выражается в долях единицы или в процентах.

Можно рассчитывать степень превращения, используя массу или объем реагирующих веществ.

$$x_A = \frac{n_A^0 - n_A}{n_A^0} = \frac{G_A^0 - G_A}{G_A^0} = \frac{V_A^0 - V_A}{V_A^0}, \quad (6)$$

где G_A^0 , V_A^0 – соответственно масса и объем реагента A в исходной реакционной смеси; G_A , V_A – соответственно масса и объем реагента A в реакционной смеси, выходящей из реактора.

Если реакция протекает без изменения объема реакционной смеси, то степень превращения может быть определена через концентрации реагентов

$$x_A = \frac{C_A^0 - C_A}{C_A^0}, \quad (7)$$

где C_A^0 , C_A – концентрация реагента A в исходной реакционной смеси и реакционной смеси, выходящей из реактора соответственно.

Когда в реакции участвуют ¹³ два или более реагента, то рассчитывают степень превращения каждого реагента отдельно.

Если протекает реакция (4), то в соответствии с ее стехиометрическим уравнением изменения количества ее участников Δn_i связаны между собой следующими соотношениями

$$\frac{|\Delta n_A|}{a} = \frac{|\Delta n_E|}{e} = \frac{|\Delta n_B|}{b} = \frac{|\Delta n_D|}{d} \quad (8)$$

Степени превращения реагентов A и E , участвующих в реакции (4)

$$x_A = \frac{n_A^0 - n_A}{n_A^0} = \frac{|\Delta n_A|}{n_A^0}, \quad x_E = \frac{n_E^0 - n_E}{n_E^0} = \frac{|\Delta n_E|}{n_E^0} \quad (9)$$

Из уравнений (8) и (9) следует

$$x_E = \frac{|\Delta n_E|}{n_E^0} = \frac{e \cdot |\Delta n_E|}{a \cdot n_E^0} = \frac{e}{a} \cdot \frac{n_A^0 \cdot x_A}{n_E^0} = \frac{\frac{n_A^0}{n_E^0}}{\frac{e}{a}} \cdot x_A \quad (10)$$

Уравнение (10) устанавливает связь между степенями превращения реагентов A и E и позволяет рассчитывать неизвестную степень превращения исходного реагента, зная степень превращения другого.

Если
$$\frac{n_A^0}{n_E^0} = \frac{e}{a}, \quad (11)$$

т.е. реагенты A и E взяты для проведения реакции в стехиометрическом соотношении, то $x_A = x_E$.

Если
$$\frac{n_A^0}{n_E^0} > \frac{e}{a}, \quad (12)$$

то реагент A взят в избытке и $x_A < x_E$.

Если

$$\frac{n_A^0}{n_E^0} < \frac{e}{a}, \quad (13)$$

то реагент E взят в избытке и $x_A > x_E$.

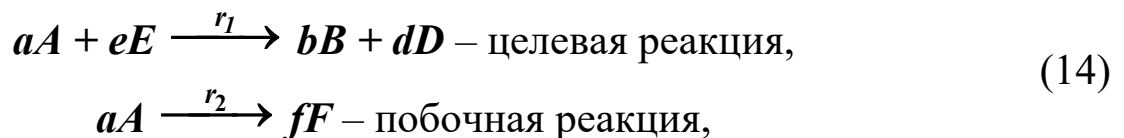
Обычно при выборе первоначального состава реакционной смеси берут в избытке более дешевый реагент (например, вода, воздух и т.д.) с целью повышения степени превращения более ценного сырья.

$$x_A^* = \frac{n_A^0 - n_A^*}{n_A^0} = \frac{G_A^0 - G_A^*}{G_A^0} = \frac{V_A^0 - V_A^*}{V_A^0}.$$

Селективность (избирательность)

Интегральная, или полная, селективность S – это отношение количества исходного реагента, расходуемого на целевую реакцию, к общему количеству исходного реагента, пошедшего на все реакции.

Например, для параллельных реакций



целевым продуктом которых является вещество B , интегральная селективность выражается уравнением

$$S_{B(A)} = \frac{\Delta G_{A(B)}}{G_A^0 - G_A} = \frac{\Delta n_{A(B)}}{n_A^0 - n_A}, \quad (15)$$

где $S_{B(A)}$ – селективность образования продукта B по реагенту A ; $\Delta G_{A(B)}$ – масса реагента A , пошедшая на образование продукта B , кг/ч; $\Delta n_{A(B)}$ – количество реагента A , пошедшее на образование B , кмоль/ч.

Значения $\Delta G_{A(B)}$ и $\Delta n_{A(B)}$ рассчитывают по стехиометрическому уравнению реакции, исходя из количества

образующегося продукта B ($n_B, {}^{15}G_B$).

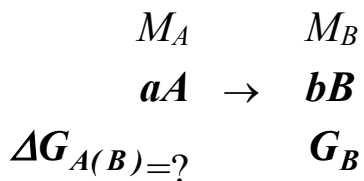


Схема реакции

$$\Delta n_{A(B)} = \frac{a}{b} \cdot n_B, \quad \Delta G_{A(B)} = G_B \cdot \frac{a \cdot M_A}{b \cdot M_B}. \quad (16)$$

Тогда полная селективность равна

$$S_{B(A)} = \frac{\frac{a}{b} \cdot n_B}{n_A^0 - n_A} = \frac{\frac{a \cdot M_A}{b \cdot M_B} \cdot G_B}{G_A^0 - G_A}. \quad (17)$$

Аналогично можно рассчитать общую селективность (избирательность) превращения сырья в другие продукты.

Сумма селективностей превращения исходного реагента по всем направлениям равна единице (или 100%).

$$\sum S_{i(A)} = 1.$$

В отдельных случаях, когда сырье представляет сложную смесь (например, газойль в процессе каталитического крекинга), общую селективность (избирательность) рассчитывают как отношение количества целевого продукта к сумме всех получаемых продуктов.

Так, для параллельной реакции (14) селективность образования продукта B можно рассчитать как отношение количества образующегося продукта B (G_B) к сумме образующихся продуктов ($G_B + G_D + G_F$)

$$S_{B(A)} = \frac{G_B}{G_B + G_D + G_F} \cdot 100, \quad \% \text{ (масс.)}. \quad (18)$$

Дифференциальной (мгновенной) селективностью φ называют отношение скоростей превращения исходных реагентов в целевой продукт к суммарной скорости расходования исходных реагентов.

Применительно к¹⁶ параллельной реакции (14) мгновенная селективность равна

$$\varphi_{B(A)} = \frac{r_1}{r_1 + r_2},$$

где r_1 – скорость образования целевого продукта B ; r_2 – скорость образования побочного продукта F .

Выход продукта

Степень превращения характеризует эффективность проведения процесса с точки зрения использования исходного сырья, но этой величины не всегда достаточно для характеристики процесса с точки зрения получения продукта реакции. Поэтому вводят еще один критерий эффективности – выход продукта.

Выход – это далеко не однозначное понятие. Иногда под выходом понимают абсолютное количество полученного продукта (в кг, кмоль), но чаще его выражают в долях единицы или в процентах на взятое сырье. Кроме того, выход применяют для характеристики систем разного масштаба – только реакционного аппарата (химический выход) какого-либо узла производства или технологической схемы в целом, когда учитывают не только расход сырья на химические реакции, но и различные потери (технологический выход). В химической технологии чаще применяют понятие химического выхода).

Химический выход продукта Φ – это отношение реально полученного количества продукта к максимально возможному его количеству, которое могло бы быть получено при данных условиях осуществления химической реакции.

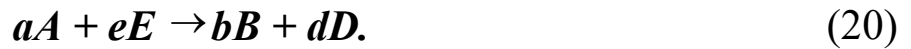
Обозначим выход продукта B через Φ_B . Тогда

$$\Phi_B = \frac{n_B}{n_{B,max}} \quad \text{или} \quad \Phi_B = \frac{G_B}{G_{B,max}}. \quad (19)$$

Максимально возможное (*теоретическое*) количество продукта,

которое может быть получено,¹⁷определяется по уравнению химической реакции. Рассмотрим несколько различных реакций.

Необратимая химическая реакция



Максимально возможное количество продукта **B** в такой реакции будет получено, если весь реагент **A** (n_A^0, G_A^0) вступит в реакцию.

$$n_{B,max} = n_A^0 \cdot \frac{b}{a}; \quad G_{B,max} = G_A^0 \cdot \frac{b \cdot M_B}{a \cdot M_A}. \quad (21)$$

Тогда

В этом случае

$$\Phi_B = \frac{n_B}{n_A \cdot \frac{b}{a}} \quad \Phi_B = \frac{G_B}{G_A^0 \cdot \frac{b \cdot M_B}{a \cdot M_A}} \quad (22)$$

или

Количество образующегося продукта **B** можно определить используя степень превращения

$$n_B = |\Delta n_A| \cdot \frac{b}{a} = n_A^0 \cdot x_A \cdot \frac{b}{a}. \quad (23)$$

$$\Phi_B = \frac{n_A^0 \cdot x_A \cdot \frac{b}{a}}{n_A^0 \cdot \frac{b}{a}} = x_A \quad (24)$$

Тогда

Обратимая химическая реакция (4).

Для такой реакции максимально возможное количество продукта **B** определяются как равновесное количество этого продукта при данных условиях осуществления реакции.

$$n_B^* = n_A^0 \cdot x_A^* \cdot \frac{b}{a}. \quad (25)$$

$$\Phi_B = \frac{n_B}{n_B^*} = \frac{n_A^0 \cdot x_A \cdot \frac{b}{a}}{n_A^0 \cdot x_A^* \cdot \frac{b}{a}} = \frac{x_A}{x_A^*} \quad (26)$$

Тогда

Таким образом, для обратимых реакций выход продукта равен доле, которую составляет реально достигнутая степень превращения от равновесной для данных условий протекания реакций.

Параллельные и последовательные реакции.

Рассмотрим две параллельно протекающие реакции (14), в которых наряду с целевым продуктом получают продукты побочной реакции.

Максимально возможное количество продукта **B** будет получено в том случае, если весь исходный реагент **A** при соблюдении условия (13) будет реагировать только по целевой реакции. Тогда

$$\Phi_B = \frac{n_B}{n_A^0 \cdot \frac{b}{a}} \text{ или } \Phi_B = \frac{G_B}{G_A^0 \cdot \frac{b \cdot M_B}{a \cdot M_A}} \quad (27)$$

Также будет выглядеть и выражение для выхода целевого продукта для последовательных и параллельно-последовательных реакций.

Установим связь между Φ_B , x_A и $S_{B(A)}$. Реально полученное количество продукта **B** можно выразить через селективность, пользуясь уравнением (17)

$$n_B = S_{B(A)} (n_A^0 - n_A) \cdot \frac{b}{a} = S_{B(A)} \cdot n_A^0 \cdot x_A \cdot \frac{b}{a} \quad (28)$$

После подстановки в уравнение (27), получим

$$\Phi_B = \frac{S_{B(A)} \cdot n_A^0 \cdot x_A \cdot \frac{b}{a}}{n_A^0 \cdot \frac{b}{a}} = S_{B(A)} \cdot x_A \quad (29)$$

При протекание обратимых параллельных и последовательных

реакций максимально возможным¹⁹ количеством целевого продукта будет то количество B , которое было бы получено, если бы реагент A расходовался только на целевую реакцию и в момент равновесия продуктов побочных реакций не было бы. Таким образом, для обратимых реакций

$$\Phi_B = \frac{n_B}{(n_A^0 - n_A^*) \cdot \frac{b}{a}} = \frac{n_B}{n_A^0 \cdot x_A^* \cdot \frac{b}{a}} \quad (30)$$

Подставив значение n_B (28), получим:

$$\Phi_B = \frac{S_{B(A)} \cdot n_A^0 \cdot x_A \cdot \frac{b}{a}}{n_A^0 \cdot x_A^* \cdot \frac{b}{a}} = S_{B(A)} \cdot \frac{x_A}{x_A^*} \quad (31)$$

Из уравнений (29) и (31) следует, что при выборе условий проведения сложных химических реакций недостаточно обеспечить только высокое значение степени превращения или только высокую селективность; высокое значение выхода целевого продукта определяется некоторой совокупностью этих критериев эффективности.

Оптимальными значениями выхода, селективности и степени превращения будут, как правило, такие, достижение которых позволяет обеспечить максимальную экономическую эффективность процесса.

Расходные коэффициенты

Расходные коэффициенты характеризуют затраты сырья, реагентов или энергии на производство целевого продукта.

Расходный коэффициент по сырью – это отношение количества сырья, затраченного при проведении химико-технологического процесса, к количеству полученного целевого продукта.

Различают теоретические и практические расходные

Теоретический расходный коэффициент ($\beta_{теор}$) рассчитывают по стехиометрическому уравнению основной реакции с учетом содержания исходного реагента в сырье.

Например, для реакции



теоретический (стехиометрический) расходный коэффициент равен

$$\beta_{теор} = \frac{a \cdot M_A}{b \cdot M_B} \cdot \alpha_A, \quad (32)$$

где α_A – массовая доля компонента A в сырье.

При расчете практических расходных коэффициентов ($\beta_{пр}$) пользуются данными материального баланса:

$$\beta_{пр} = \frac{G_A^0}{G_B \cdot \alpha_A}; \quad (33)$$

– для открытых систем

$$\beta_{пр} = \frac{G_A^0 - G_A}{G_B \cdot \alpha_A}. \quad (34)$$

– для циркуляционных систем

Практические расходные коэффициенты можно рассчитывать также на основе теоретического коэффициента, учитывая степень превращения исходного реагента x_A , избирательность ($S_{B(A)}$) или выход продукта Φ_B :

$$\beta_{пр} = \frac{\beta_{теор}}{x_A \cdot S_{B(A)}} = \frac{\beta_{теор}}{\Phi_B}; \quad (35)$$

– для открытых систем

$$\beta_{пр} = \frac{\beta_{теор}}{S_{B(A)}}. \quad (36)$$

– для циркуляционных систем

Так как x_A и $S_{B(A)}$ меньше единицы, практический расходный коэффициент всегда меньше теоретического.

Задача технологов – уменьшить отношение $\beta_{пр}/\beta_{теор}$ без

увеличения себестоимости²¹продукта. Это достигается путем повышения степени превращения, избирательности и, как следствие, увеличение выхода целевого продукта.

Для процессов, протекающих в несколько стадий расходный коэффициент рассчитывают, учитывая выход продуктов на каждой стадии

$$\beta_{np} = \frac{\beta_{теор}}{(\Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \dots \cdot \Phi_n)} \quad (37)$$

1.1.6 Примеры решения задач

Пример 1. В процессе пиролиза метана для получения ацетилена по реакции



в печь пиролиза подано 2000 м³ метана. Газ пиролиза содержит 570 кг метана и 533 кг ацетилена. Определить степень превращения метана, селективность и выход ацетилена. Процесс проводят при 1600 К, давлении 0,1 МПа.

Равновесная степень превращения – 84%.

Решение. Масса исходного метана

$$G_{\text{CH}_4}^0 = \frac{V_{\text{CH}_4}^0}{22,4} \cdot M_{\text{CH}_4} = \frac{2000}{22,4} \cdot 16 = 1429 \text{ кг}$$

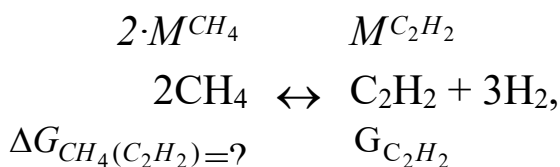
Прореагировало метана

$$G_{\text{CH}_4}^0 - G_{\text{CH}_4} = 1429 - 570 = 859 \text{ кг}$$

Степень превращения метана

$$x_{\text{CH}_4} = \frac{G_{\text{CH}_4}^0 - G_{\text{CH}_4}}{G_{\text{CH}_4}^0} = \frac{859}{1429} = 0,601 \text{ или } 60,1\%$$

Количество метана, расходуемого на получение ацетилена:



$$\Delta G_{CH_4(C_2H_2)} = G_{C_2H_2} \cdot \frac{2 \cdot M_{CH_4}}{M_{C_2H_2}} = 533 \cdot \frac{2 \cdot 16}{26} = 656 \text{ кДж}$$

Селективность образования ацетилена из метана

$$S_{C_2H_2(CH_4)} = \frac{\Delta G_{CH_4(C_2H_2)}}{G_{CH_4}^0 - G_{CH_4}} = \frac{656}{859} = 0,764 \text{ или } 76,4\%$$

Выход ацетилена можно определить двумя способами:

1 способ. Определим по уравнению реакции максимальное (равновесное) количество ацетилена, которое могло бы быть получено из метана, поданного в реактор $G_{CH_4}^0$.

$$G_{C_2H_2, \max} = G_{CH_4}^0 \cdot x_{CH_4}^* \cdot \frac{M_{C_2H_2}}{2 \cdot M_{CH_4}} = 1429 \cdot 0,84 \cdot \frac{26}{2 \cdot 16} = 975 \text{ кг}$$

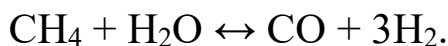
Выход ацетилена равен

$$\Phi_{C_2H_2} = \frac{G_{C_2H_2}}{G_{C_2H_2, \max}} = \frac{533}{975} = 0,547 \text{ или } 54,7\%$$

2 способ. Используя связь между выходом продукта и степенью превращения, селективностью и равновесной степенью превращения определяем

$$\Phi_{C_2H_2} = S_{C_2H_2(CH_4)} \cdot \frac{x_{CH_4}}{x_{CH_4}^*} = 0,764 \cdot \frac{0,601}{0,84} = 0,547 \text{ или } 54,7\%$$

Пример 2. Определить изменение состава парогазовой смеси при конверсии метана водяным паром, протекающей по реакции:



Температура в зоне катализа 840°C ; степень конверсии метана

0,84, общее давление 2,0 МПа. 23

Таблица 1.2 – Состав исходной смеси и количество компонентов

	CH ₄	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	Σ
$V_0, \text{м}^3/\text{ч}$	97945	6709	948	152	606	272686	379046
$C_i, \%$	25,84	1,77	0,25	0,04	0,16	71,94	100,00

Решение. При степени конверсии 0,84 прореагирует метана $97945 \cdot 0,84 = 82274 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Остается непрореагировавшего метана:

$$97945 - 82274 = 15671 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход водяного пара: $82274 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Остается непрореагировавшего водяного пара:

$$272686 - 82274 = 190412 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Образуется оксида углерода: $82274 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Общее количество оксида углерода в парогазовой смеси:

$$152 + 82274 = 82426 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Общее количество водорода в парогазовой смеси:

$$6709 + 246822 = 253531 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

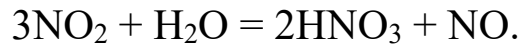
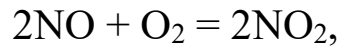
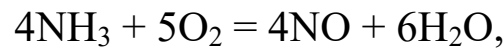
Таблица 1.3 – Состав и количество продуктов конверсии

	CH ₄	H ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂ O	Σ
$V_0, \text{м}^3/\text{ч}$	15671	253531	948	82426	606	190412	543594
$C_i, \%$	2,88	46,64	0,18	15,16	0,11	35,03	100,00

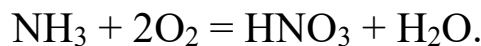
Пример 3. Определить количество аммиака, требуемое для производства 100000 т/год азотной кислоты и расход воздуха на окисление аммиака, если цех работает 355 дней в году, выход оксида азота 0,97, степень абсорбции 0,92, содержание аммиака в сухой аммиачно-воздушной смеси 7,13%

Решение. Окисление аммиака является первой стадией получения азотной кислоты из аммиака. По этому методу аммиак окисляется кислородом воздуха в присутствии платинового

катализатора при 800–900°C до²⁴оксидов азота, после чего диоксид азота поглощается водой с образованием азотной кислоты. Схематично процесс можно изобразить уравнениями:



Для материальных расчетов можно в первом приближении записать суммарное уравнение этих стадий в виде:



Количество аммиака Π_{NH_3} для получения 100000 т HNO_3 с учетом степени окисления ($x_{\text{ок}}$) и степени абсорбции ($x_{\text{аб}}$)

$$\Pi_{\text{NH}_3} = \frac{\Pi_{\text{HNO}_3} \cdot M_{\text{NH}_3}}{M_{\text{HNO}_3} \cdot x_{\text{ок}} \cdot x_{\text{аб}}}.$$

$$\Pi_{\text{NH}_3} = \frac{100000 \cdot 17}{63 \cdot 0,97 \cdot 0,92} = 30300 \text{ т}.$$

Расход аммиака

$$G_{\text{NH}_3} = \frac{\Pi_{\text{NH}_3} \cdot 1000}{355 \cdot 24} = 3560 \text{ кг/ч}$$

$$V_{\text{NH}_3} = \frac{G_{\text{NH}_3}}{M_{\text{NH}_3}} \cdot 22,4 = \frac{3560}{17} \cdot 22,4 = 4680 \text{ м}^3/\text{ч}$$

или

Определим объемное содержание аммиака в сухой аммиачно-воздушной смеси.

$$C_{\text{NH}_3} = \frac{\frac{\omega_{\text{NH}_3}}{M_{\text{NH}_3}}}{\frac{\omega_{\text{NH}_3}}{M_{\text{NH}_3}} + \frac{\omega_{\text{воз}}}{M_{\text{воз}}}} \cdot 100 = \frac{7,13}{17 + \frac{92,87}{29}} \cdot 100 = 11,5\%(\text{об.})$$

где ω – содержание компонентов в смеси в % (масс.).

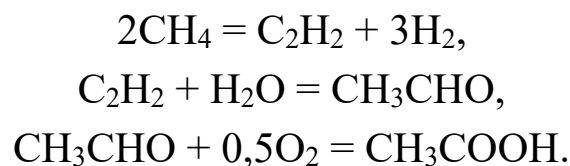
Расход воздуха на окисление

$$V_{\text{воз}} = V_{\text{NH}_3} \cdot \left(\frac{100 - C_{\text{NH}_3}}{C_{\text{NH}_3}} \right) = 4680 \cdot \left(\frac{100 - 11,5}{11,5} \right) = 36000 \text{ м}^3$$

Пример 4. Рассчитать расходный коэффициент природного газа, содержащего 97% (об.) метана, в производстве уксусной кислоты (на 1 т) из ацетальдегида. Выход ацетиленда из метана составляет 15% от теоретически возможного, ацетальдегида из ацетиленда – 60%, а уксусной кислоты из ацетальдегида 90% (масс.).

Молекулярная масса: C_2H_2 – 26; CH_3CHO – 44; CH_3COOH – 60; CH_4 – 16.

Решение. Уксусную кислоту получают из метана многостадийным методом согласно уравнениям



Теоретический расход метана на 1 т уксусной кислоты

$$\beta_{\text{теор}} = 1 \cdot 2 \cdot \frac{M_{\text{CH}_4}}{M_{\text{CH}_3\text{COOH}}} = 1 \cdot 2 \cdot \frac{16}{60} = 0,534 \text{ т}$$

Практический расходный коэффициент метана

$$\begin{aligned} \beta_{\text{пр}} &= \frac{\beta_{\text{теор}}}{\Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \Phi_3} = \frac{0,534}{0,15 \cdot 0,60 \cdot 0,90} = 6,59 \text{ т} \\ &= \frac{6,59 \cdot 1000 \cdot 22,4}{M_{\text{CH}_4}} = 9230 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

или

Расход природного газа на 1 т уксусной кислоты

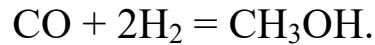
$$\beta_{\text{пр}} = \frac{9230}{0,97} = 9515 \text{ м}^3$$

1.1.7 Задачи для

самостоятельного решения

1. Рассчитать расход колчедана, содержащего 40% S, на 1 т H_2SO_4 , если потери S и SO_2 составляют 3%, а степень абсорбции SO_3 – 99%.

2. При термоокислительном крекинге метана (с целью получения ацетилен) смесь газов имеет состав [% (об.)]: C_2H_2 – 8,5; H_2 – 57,0; CO – 25,3; CO_2 – 3,7; C_2H_4 – 0,5; CH_4 – 4,0; Ar – 1,0. Определить количество метана, которое нужно подвергнуть крекингу, чтобы из отходов крекинга после отделения ацетилена получить 1 т метанола по реакции

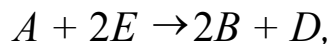


По практическим данным из 1 т исходного метана получается после выделения ацетилена 1160 кг смеси газов.

3. Рассчитать объем 65%-й серной кислоты (плотностью 1,56 г/л) с 5%-м избытком от теоретического количества, требуемый для разложения 100 кг апатитового концентрата (содержащего 38% P_2O_5) по реакции

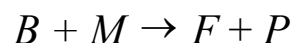
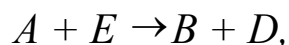


4. Определите состав смеси (N_A , N_E , N_B , N_D) и степень превращения вещества E (x_E) для реакции



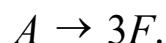
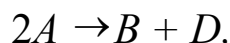
если $x_A = 0,6$, $N_A^0 = 1 \text{ кмоль/м}^3$, $N_E^0 = 1,5 \text{ кмоль/м}^3$.

5. Рассчитайте выход продукта B , если известно, что при проведении последовательных реакций



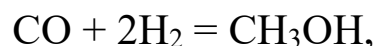
получено 12 моль продукта B , 4 моль продукта F , а для проведения реакции взято по 20 моль реагентов A и E .

6. Протекают параллельные²⁷реакции



Определить выход продукта B , степень превращения x_A , полную селективность образования B ($S_{B(A)}$), если на выходе из реактора $N_A = 2 \text{ кмоль/м}^3$, $N_B = 3 \text{ кмоль/м}^3$, $N_F = 3,5 \text{ кмоль/м}^3$.

7. При термоокислительном пиролизе метана с целью получения ацетилена смесь газов имеет состав [% (об.)]: $\text{C}_2\text{H}_2 - 8,5$; $\text{H}_2 - 57,0$; $\text{CO} - 25,3$; $\text{CO}_2 - 3,7$; $\text{C}_2\text{H}_4 - 0,5$; $\text{CH}_4 - 4,0$; $\text{Ar} - 1,0$. Определить количество метана, которое нужно подвергнуть пиролизу, чтобы из отходящего газа, образующегося после отделения ацетилена, получить 1 т метанола по реакции



выход метанола по которой составляет 95%.

8. Определить количество и состав продуктов на выходе из контактного аппарата для каталитического окисления SO_2 в SO_3 . Производительность реактора $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$ исходного газа следующего состава, % (об.): $\text{SO}_2 - 8,5$; $\text{O}_2 - 12,5$; $\text{N}_2 - 79$. Степень окисления SO_2 в SO_3 составляет 98%

9. Сколько потребуется сульфата железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и хромового ангидрида CrO_3 для получения 1 т железохромового катализатора конверсии оксида углерода, имеющего состав (%): $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 90$;
 $\text{CrO}_3 - 10$.

10. Определить расходный коэффициент технического карбида кальция в производстве ацетилена (на 1000 кг ацетилена). Содержание CaC_2 в техническом продукте 83%, а степень использования CaC_2 в производстве 0,88.

1.1.8 Вопросы для контроля

1. Перечислите основные характеристики реакторов.

2. Какие показатели работы²⁸реакторов относятся к технологическим?
3. Приведите классификацию химических реакторов.
4. Какими путями можно интенсифицировать работу реакторов?
5. Перечислите основные показатели химико-технологического процесса.
6. Чем отличается дифференциальная селективность от интегральной?
7. Как рассчитывается степень превращения, равновесная степень превращения, выход продукта?
8. Как связаны между собой выход продукта, степень превращения и селективность?
9. Как рассчитываются расходные коэффициенты?
10. Дайте определение объемной скорости.
11. Как рассчитывается объем катализатора, высота катализаторного слоя?
12. Приведите формулу для расчета диаметра реактора, диаметра штуцеров.

Цель: приобретение практических навыков расчета материальных балансы технологических процессов с использованием программы MathCAD;

2.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Основой технологических расчетов являются расчеты материальных потоков при протекании химико-технологических процессов. Знание материальных потоков необходимо для проведения конструктивных расчетов производственного оборудования и коммуникаций, оценки экономической эффективности процесса. Самым распространенным видом материальных расчетов является составление материальных балансов. Материальные балансы составляют на основе *закона сохранения массы вещества*:

|| во всякой замкнутой системе масса веществ, вступивших в реакцию, равна массе веществ, получившихся в результате реакции.

Применительно к материальному балансу любого технологического процесса это означает, что масса веществ, поступивших на технологическую операцию (**приход**), равна массе веществ, получившихся в результате ее (**расход**).

$$G_{\text{прих}} = G_{\text{расх}} \quad \text{или} \quad G_{\text{прих}} - G_{\text{расх}} = 0.$$

Эти уравнения справедливы для установившегося (стационарного) процесса. Определение массы вводимых компонентов и полученных продуктов производят отдельно для твердой, жидкой и газообразной фаз согласно уравнению

$$G_{\Gamma} + G_{\text{Ж}} + G_{\text{T}} = G_{\Gamma}'' + G_{\text{Ж}}'' + G_{\text{T}}''. \quad (1.1)$$

В процессе не всегда³⁰присутствуют все фазы, а в одной фазе могут содержаться несколько веществ, что приводит к упрощению или усложнению уравнения (1.1).

Материальный баланс по всем реагирующим компонентам

$$\sum_{i=1}^k m_i^{ex} = \sum_{j=1}^k m_j^{ex}, \quad (1.2)$$

где m_i, m_j – массы компонентов; k – количество компонентов.

При проведении исследований материальный баланс составляют на основе данных о количестве и составе подаваемых в реактор реагентов, составе и количестве образующихся продуктов реакции. Он используется для расчета основных показателей процесса: степени превращения реагента, избирательности, выхода продукта.

При проектировании новых или реконструкции действующих производств материальный баланс составляют по уравнению основной суммарной реакции с учетом параллельных и побочных реакций. Поскольку на практике приходится иметь дело не с чистыми веществами, а с сырьем сложного химического и механического состава, при составлении материального баланса учитывают массу всех компонентов. Для этого пользуются данными анализов. Расчет обычно выполняют в единицах массы (кг, т), а также в единицах количества вещества (моль, кмоль) и в единицах объема (нм³). Эти данные используются для расчета энергетических балансов, конструктивных размеров оборудования и в других расчетах.

На производстве материальный баланс составляют на основе показаний приборов по измерению расходов и данных анализа состава потоков.

Обычно составляют материальные балансы для реактора, установки, цеха, завода, отрасли.

Различают балансы на единицу времени и единицу продукции.

Материальный баланс на единицу времени составляют чаще всего для непрерывных процессов с целью расчета размеров аппаратов,

диаметров трубопроводов, а также³¹ для определения входных и выходных значений концентраций реагирующих компонентов.

Материальный баланс на единицу продукции составляют как для непрерывных, так и для периодических процессов с целью определения теоретических и практических расходных коэффициентов.

Материальные балансы выражают в виде формул, таблиц и диаграмм. Чаще всего его представляют в виде таблиц, содержащих приходную и расходную части.

2.2 ЗАДАНИЯ

Задание 1. Составить материальный баланс реакционной печи, в которой протекает процесс паровой конверсии метана.

Исходные данные:

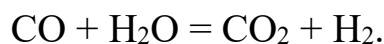
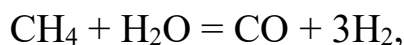
Объем подаваемого газа в реакционную печь – $V_2 = 10000 \text{ нм}^3/\text{ч}$.

Газ имеет следующий состав, %(об.): $\text{CH}_4 - 95,1$; $\text{CO}_2 - 1,9$; $\text{N}_2 - 2,2$; $\text{Ar} - 0,8$.

Мольное отношение $\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$ составляет – m .

Процесс протекает при температуре t °С и давлении P МПа.

В процесс паровой конверсии метана протекают две реакции:



Степень превращения $\text{CH}_4 - x_1$ %, степень превращения $\text{CO} - x_2$ %.

Конкретные значения параметров процесса приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Варианты заданий

Вариант	$\text{H}_2\text{O}/\text{CH}_4$	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{ МПа.}$	Степень превращения, %	
				$\text{CH}_4 (x_1)$	$\text{CO} (x_2)$
1	2 : 1	527	0,1	40,9	22,5
2		627	0,5	42,8	27,7
3		727	0,5	71,1	26,4
4		727	1,0	56,6	25,7
5	4 : 1	527	0,1	61,5	51,2
6		527	0,5	35,5	32,2
7		627	0,5	63,1	46,2

8		827	0,5	98,6	41,6
9	6 : 1	527	0,5	75,5	65,3
10		827	3,0	51,4	12,3
11 (пример)	4 : 1	627	3,0	33,3	28,4

Задание 2. Представить сводный материальный баланс в виде таблицы Excel.

Задание 3. Рассчитать влажность конвертированного газа.

Задание 4. Определить состав влажного и сухого газа на выходе из реакционной печи.

2.3 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.3.1 Методика составления материального баланса

Материальный баланс составляют по уравнениям реакций, протекающих в реакционной печи согласно закону сохранения массы вещества. Последовательность расчета дана в примере.

2.3.2 Использование таблицы Excel для вывода данных в документе MathCAD

Материальный баланс наиболее часто представляют в виде таблицы. Для вывода материального баланса технологического процесса в виде таблицы используют программу Excel. Для вставки в документ MathCAD таблицы Excel выполните следующие действия:

- Выберите в меню **Вставка** команду **Компонент**;
- В появившемся диалоговом окне **Component Wizard** (рисунок 2.1) в списке выберите Excel и нажмите кнопку Next >.

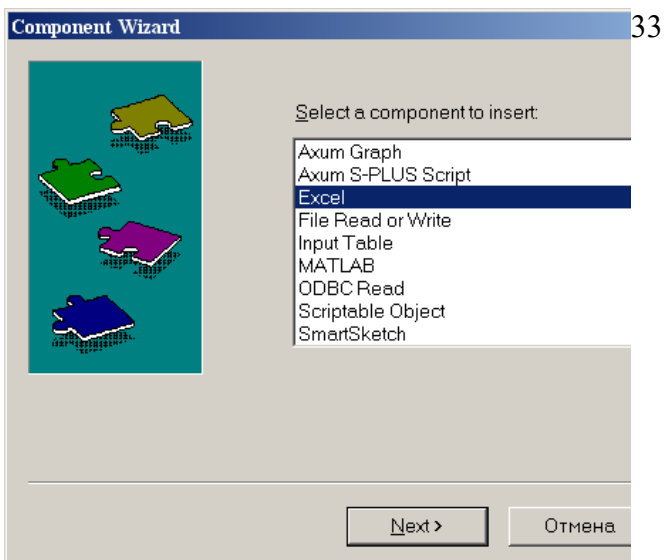


Рисунок 2.1 – Диалоговое окно «*Component Wizard*»

- В появившемся диалоговом окне **Excel setup Wizard** (рисунок 2.2) установите флажок на пункте **Create an empty Excel worksheer**, нажмите кнопку **Далее >**.

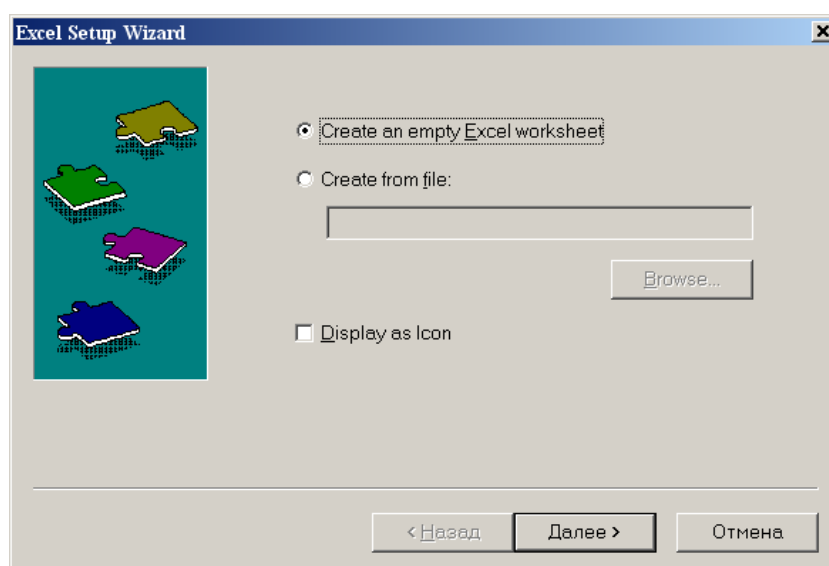


Рисунок 2.2 – Диалоговое окно *Excel setup Wizard*

- В появившемся новом диалоговом окне **Excel setup Wizard** (рисунок 2.3) в окне **Inputs** укажите для каждой переменной имена ячеек электронной таблицы, в которые будут введены данные, и нажмите кнопку **Готово**. Если вводится массив данных, то указывают имя начальной ячейки.

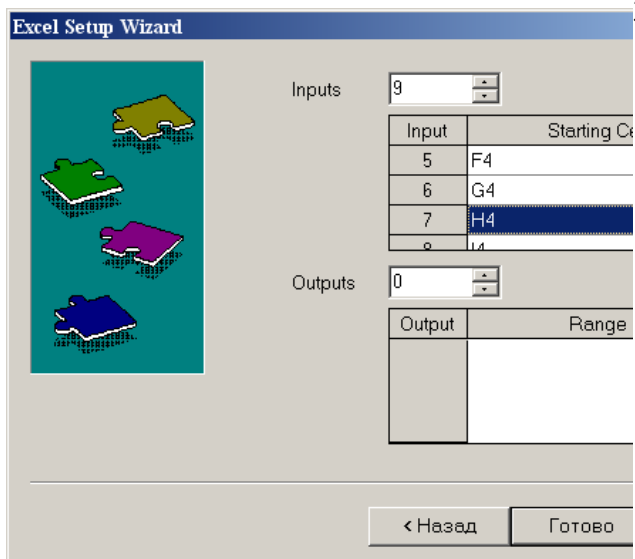


Рисунок 2.3 – Новое диалоговое окно *Excel setup Wizard*

- В документе MathCAD появятся электронные таблицы Excel и *местозаполнители*, обозначаемые черными прямоугольниками, в которые необходимо ввести имена переменных, содержащие вводимые данные.

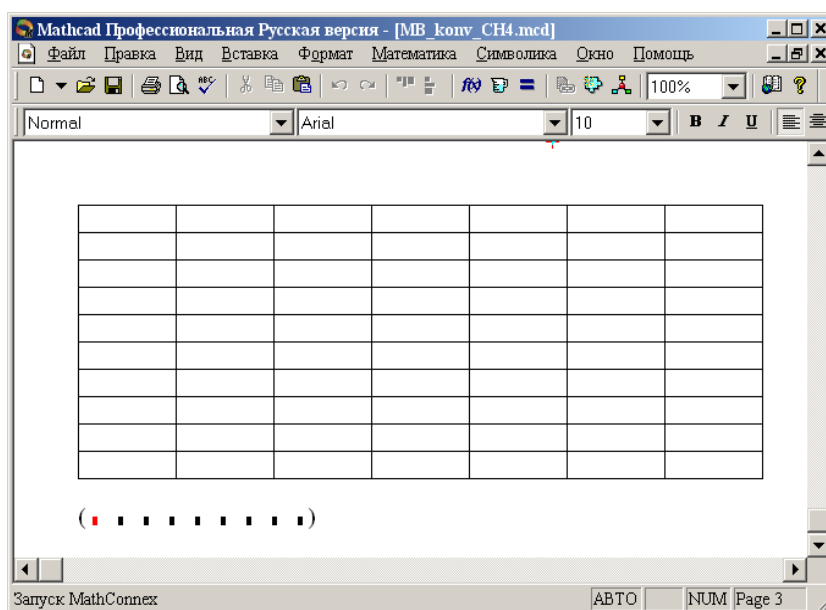


Рисунок 2.4 – Документ *MathCAD*

После ввода переменных, происходит заполнение таблицы. При двойном щелчке мыши на таблице подключается программа Excel. Можно форматировать таблицу, добавлять заголовки, данные, использовать все функции и возможности программы Excel.

При щелчке на таблице правой³⁵кнопкой мыши появляется контекстное меню, использование команд которого позволяет добавлять и удалять переменные, изменять выбранный диапазон ячеек таблицы Excel.

2.3.3 Оператор суммирования элементов вектора

Чтобы вычислить сумму всех элементов вектора \mathbf{v} , определенного где-либо в рабочем документе, выполните следующие действия:

Щёлкните в свободном месте или в поле. Затем нажмите клавиши **[Ctrl]+4**. Появится знак суммы и местозаполнитель в виде черного прямоугольника.

Σ ■

Введите имя вектора или выражения, принимающего векторные значения. Mathcad вернет сумму всех элементов вектора.

ОТЧЕТ

по лабораторной работе

на тему: "РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА"

Цель: Расчет материального баланса с использованием программы MathCAD.

Выполнил: студент группы ХТН-051 Петров А.Л.

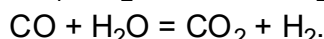
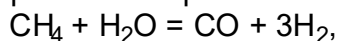
Задание 1. Составить материальный баланс реакционной печи, в которой протекает процесс паровой конверсии метана.

Исходные данные: Объем подаваемого газа в реакционную печь $S Vm = 10000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Газ имеет следующий состав, %(об.): $\text{CH}_4 - 95,1$; $\text{CO}_2 - 1,9$; $\text{N}_2 - 2,2$; $\text{Ar} - 0,8$.

Мольное отношение $\text{H}_2\text{O} / \text{CH}_4$ составляет m .

Процесс протекает при температуре $t^\circ\text{C}$ и давлении $P \text{ МПа}$.

В процесс паровой конверсии метана протекают две реакции



Степень превращения $\text{CH}_4 - x1\%$, степень превращения $\text{CO} - x2\%$.

Расчет:

Вариант 11 $SVm := 10000$ $m := 4$ $x1 := 0.333$ $x2 := 0.284$

$$Nm := (0.951 \ 0.019 \ 0 \ 0.022 \ 0 \ 0.008 \ 0)^T$$

Примем следующие обозначения:

SVm - общий объем газа, подаваемого в реакционную печь, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Nm_i - мольная (объемная) доля i -го компонента в газе;

SNm - сумма мольных долей компонентов;

Vm_i - объем i -го компонента газа, подаваемого в реактор, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Vn - объем водяных паров, подаваемых в реактор, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Vc_i - объем i -го компонента парогазовой смеси, $\text{м}^3/\text{ч}$;

SVc - объем парогазовой смеси, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Nc_i - мольная (объемная) доля i -го компонента в парогазовой смеси;

SNc - сумма мольных долей компонентов;

Gc_i - масса i -го компонента парогазовой смеси, кг ;

SGc - масса парогазовой смеси, подаваемой в реактор, $\text{кг}/\text{ч}$;

wc_i - массовая доля i -го компонента парогазовой смеси;

Swc - сумма массовых долей компонентов ПГС;

nk - количество компонентов в реакционной смеси;

M_i - мольная масса i -го компонента;

Vp_i - объем i -го компонента реакционных газов

$\text{м}^3/\text{ч}$;

SVp - объем реакционного газа, выходящего из реакционной печи, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Np_i - мольная (объемная) доля i -го компонента в реакционном газе;

SNp - сумма мольных долей компонентов;

Gp_i - масса i -го компонента реакционном газе $\text{кг}/\text{ч}$;

SGp - масса реакционных газов выходящих из реакционной печи, $\text{кг}/\text{ч}$;

wp_i - массовая доля i -го компонента реакционного газа

Swp - сумма массовых долей компонентов

реакционного газа;

VI - влажность конвертированного газа

Расчет количества и состава парогазовой смеси на входе в реакционную печь:

ORIGIN := 1

$$\text{Name} := \begin{pmatrix} \text{"CH4"} \\ \text{"CO2"} \\ \text{"CO"} \\ \text{"N2"} \\ \text{"H2"} \\ \text{"Ar"} \\ \text{"H2O"} \end{pmatrix} \quad \text{M} := \begin{pmatrix} 16 \\ 44 \\ 28 \\ 28 \\ 2 \\ 39.9 \\ 18 \end{pmatrix} \quad \text{Vm} := \text{SVm} \cdot \text{Nm} \quad \text{Vm} = \begin{pmatrix} 9510 \\ 190 \\ 0 \\ 220 \\ 0 \\ 80 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{nk} := \text{last}(\text{Name}) \quad \text{V}_{\Pi} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ m \cdot \text{Vm}_1 \end{pmatrix}$$

$$\text{Vc} := \text{Vm} + \text{V}_{\Pi}$$

$$\text{Vc} = \begin{pmatrix} 9510 \\ 190 \\ 0 \\ 220 \\ 0 \\ 80 \\ 38040 \end{pmatrix} \quad \text{SVc} := \sum \text{Vc} \quad \text{SVc} = 48040 \quad \text{Nc} := \frac{\text{Vc}}{\text{SVc}} \quad \text{Nc} = \begin{pmatrix} 0.198 \\ 0.004 \\ 0 \\ 0.0046 \\ 0 \\ 0.0017 \\ 0.7918 \end{pmatrix} \quad \text{SNc} := \sum \text{Nc} \quad \text{Проверка: SNc} = 1$$

$$\text{Gc} := \frac{\text{Vc} \cdot \text{M}}{22.4} \quad \text{Gc} = \begin{pmatrix} 6793 \\ 373 \\ 0 \\ 275 \\ 0 \\ 143 \\ 30568 \end{pmatrix} \quad \text{SGc} := \sum \text{Gc} \quad \text{SGc} = 38151 \quad \text{wc} := \frac{\text{Gc}}{\text{SGc}} \quad \text{wc} = \begin{pmatrix} 0.178 \\ 0.0098 \\ 0 \\ 0.0072 \\ 0 \\ 0.0037 \\ 0.8012 \end{pmatrix} \quad \text{Swc} := \sum \text{wc} \quad \text{Проверка: Swc} = 1$$

Расчет количества и состава парогазовой смеси на выходе из реакционной печи:

$$\text{Vp} := \begin{pmatrix} \text{Vc}_1 \cdot (1 - x_1) \\ \text{Vc}_2 + \text{Vc}_1 \cdot x_1 \cdot x_2 \\ \text{Vc}_1 \cdot x_1 \cdot (1 - x_2) \\ \text{Vc}_4 \\ \text{Vc}_1 \cdot 3 \cdot x_1 + \text{Vc}_1 \cdot x_1 \cdot x_2 \\ \text{Vc}_6 \\ \text{Vc}_7 - \text{Vc}_1 \cdot x_1 - \text{Vc}_1 \cdot x_1 \cdot x_2 \end{pmatrix} \quad \text{Vp} = \begin{pmatrix} 6343 \\ 1089 \\ 2267 \\ 220 \\ 10400 \\ 80 \\ 33974 \end{pmatrix} \quad \text{SVp} := \sum \text{Vp} \quad \text{SVp} = 54374 \quad \text{Np} := \frac{\text{Vp}}{\text{SVp}} \quad \text{Np} = \begin{pmatrix} 0.1167 \\ 0.02 \\ 0.0417 \\ 0.004 \\ 0.1913 \\ 0.0015 \\ 0.6248 \end{pmatrix} \quad \text{SNp} := \sum \text{Np}$$

$$\text{Проверка: SNp} = 1$$

$$G_p := \frac{\overrightarrow{(V_p \cdot M)}}{22.4}$$

$$G_p = \begin{pmatrix} 4531 \\ 2140 \\ 2834 \\ 275 \\ 929 \\ 143 \\ 27300 \end{pmatrix} \quad S_{Gp} := \sum G_p \quad S_{Gp} = 38151$$

$$w_p := \frac{G_p}{S_{Gp}} \quad w_p = \begin{pmatrix} 0.1188 \\ 0.0561 \\ 0.0743 \\ 0.0072 \\ 0.0243 \\ 0.0037 \\ 0.7156 \end{pmatrix} \quad S_{w_p} := \sum w_p$$

Проверка:
 $S_{w_p} = 1$

Задание 2. Представить сводный материальный баланс в виде таблицы, созданной в программе Excel.

Материальный баланс процесса паровой конверсии метана								
ПРИХОД					РАСХОД			
Компонент	Vc, м ³ /ч	Nc, доли	Gc, кг/ч	wc, доли	Vp, м ³ /ч	Np, доли	Gp, кг/ч	wp, доли
CH ₄	9510	0,1980	6792,9	0,1780	6343	0,1167	4530,8	0,1188
CO ₂	190	0,0040	373,2	0,0098	1089	0,0200	2139,9	0,0561
CO	0	0,0000	0,0	0,0000	2267	0,0417	2834,3	0,0743
N ₂	220	0,0046	275,0	0,0072	220	0,0040	275,0	0,0072
H ₂	0	0,0000	0,0	0,0000	10400	0,1913	928,6	0,0243
Ar	80	0,0017	142,5	0,0037	80	0,0015	142,5	0,0037
H ₂ O	38040	0,7918	30567,9	0,8012	33974	0,6248	27300,4	0,7156
Итого:	48040	1,0000	38151,4	1,0000	54374	1,0000	38151,4	1,0000

(Name Vc Nc Gc wc Vp Np Gp wp)

Задание 3. Рассчитать влажность конвертированного газа.

Расчет:
$$VI := \frac{V_{p7}}{\sum_{i=1}^{nk} V_{pi}} \cdot 100 \quad VI = 62.5\%$$

Задание 4. Определить состав влажного и сухого газа на выходе из реакционной печи.

Расчет:

		Состав сухого газа	
	$N_p =$	$SV_{ps} := \sum_{i=1}^{nk} V_{psi}$	$V_{ps} := V_p$
Состав влажного газа	$N_p =$	$SV_{ps} = 20400$	$V_{ps7} := 0$
	$N_p =$	$SN_{ps} := \sum_{i=1}^{nk} N_{psi}$	$N_{ps} := \frac{V_{ps}}{SV_{ps}}$
	$N_p =$	Проверка:	$N_{ps} =$
	$N_p =$	$SN_{ps} = 1$	$N_{ps} =$

$$N_p = \begin{pmatrix} 0.1167 \\ 0.02 \\ 0.0417 \\ 0.004 \\ 0.1913 \\ 0.0015 \\ 0.6248 \end{pmatrix} \quad N_{ps} = \begin{pmatrix} 0.3109 \\ 0.0534 \\ 0.1112 \\ 0.0108 \\ 0.5098 \\ 0.0039 \\ 0 \end{pmatrix}$$

2.5 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ**РАБОТЫ**

- 1 Дайте определение закона сохранения массы вещества применительно к материальному балансу технологического процесса.
- 2 С какой целью составляют материальный баланс на единицу времени?
- 3 Каким образом составляют материальный баланс при проектировании новых производств?
- 4 В каком виде выражают материальные балансы?
- 5 Какие действия необходимо выполнить, чтобы вставить в документ MathCAD таблицу Excel?
- 6 Каким образом можно изменять переменные и их связь с таблицей Excel?

Цель: приобретение практических навыков расчета тепловых балансов технологических процессов с использованием программы MathCAD.

3.1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Энергетический баланс составляют по данным материального баланса на основе закона сохранения энергии:

|| в замкнутой системе сумма всех видов энергии постоянна.

Применительно к тепловому балансу закон сохранения энергии может быть сформулирован следующим образом:

|| приход теплоты в данном цикле производства должен быть точно равен расходу ее в этом же цикле.

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}} \text{ ИЛИ } Q_{\text{прих}} - Q_{\text{расх}} = 0. \quad (3.1)$$

Эти уравнения справедливы для установившегося (стационарного) процесса. Для нестационарного (динамического) процесса

$$Q_{\text{прих}} - Q_{\text{расх}} = dQ/d\tau.$$

При составлении теплового баланса должна быть учтена вся теплота, подводимая в аппарат или отводимая из него, теплота выделяющаяся (поглощающаяся) в результате химических реакций или физических превращений, теплота, вносимая каждым компонентом, как входящим в процесс или аппарат, так и выходящим из него, а также теплообмен с окружающей средой. В общем случае уравнение теплового баланса можно представить в виде

$$Q_{\text{вх}} + Q_{\text{ф}}^{\text{в}} + Q_{\text{р}}^{\text{в}} + Q_{\text{нагр}} = Q_{\text{вых}} + Q_{\text{ф}}^{\text{н}} + Q_{\text{р}}^{\text{н}} + Q_{\text{охл}} + Q_{\text{пот}}. \quad (3.2)$$

Здесь $Q_{\text{вх}}$ и $Q_{\text{вых}}$ – соответственно количество теплоты, вносимое в аппарат входным потоком или выносимое из него выходным потоком;

Q_{ϕ}^s и Q_{ϕ}^n – теплота физических процессов, происходящих с выделением или поглощением теплоты; Q_p^s и Q_p^n – теплота экзотермических (s) и эндотермических (n) химических реакций; $Q_{нагр}$ и $Q_{охл}$ – соответственно количество теплоты, подводимое в аппарат извне для нагрева реакционной смеси и отводимое через холодильник для поддержания заданного температурного режима; $Q_{пот}$ – потери теплоты в окружающую среду.

3.2 ЗАДАНИЯ

Задание 1. Составить тепловой баланс реакционной печи, в которой протекает процесс паровой конверсии метана.

Исходные данные: Материальный баланс процесса, рассчитанный в предыдущей работе. $T_{вх}$ парогазовой смеси равна 450°C .

Задание 2. Построить график зависимости величины теплового эффекта процесса от температуры.

3.3 МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.3.1 Методика составления теплового баланса

Определение каждой из величин уравнения является одной из главных задач при расчете технологического процесса и проектировании химической аппаратуры.

Теплоту, вносимую потоком, обычно подсчитывают по уравнениям:

$$Q_{вх} = G \cdot \bar{c} \cdot t, \quad Q_{вх} = n \cdot c_p \cdot t, \quad Q_{вх} = V \cdot c_v \cdot t, \quad (3.3)$$

где G , n , V – соответственно масса, количество, объем входного потока; \bar{c} , c_p , c_v – соответственно удельная, мольная и объемная теплоемкость потока при температуре t .

Мольную теплоемкость индивидуальных газообразных компонентов рассчитывают по уравнению

$$c_p = A_0 + A_1 \cdot \left(\frac{T}{1000}\right) + A_2 \cdot \left(\frac{T}{1000}\right)^2 + A_3 \left(\frac{T}{1000}\right)^3 + A_{-2} \left(\frac{T}{1000}\right)^{-2}, \quad (3.4)$$

где A_0, A_1, A_2, A_{-2} – коэффициенты уравнения.

Значения коэффициентов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Термодинамические свойства компонентов

№	Компоненты	М	Н _f , кДж/моль	Параметры уравнения $C_p = f(T)$, Дж/(моль·К)				
				A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
1	CH ₄	16,0	-74,8	0,0	105,8	-38,6	4,9	0,66
2	CO ₂	44,0	-393,5	23,6	59,9	-39,4	10,2	-0,10
3	CO	28,0	-110,5	28,1	-3,3	16,1	-7,8	0,07
4	N ₂	28,0	0,0	31,0	-12,4	24,7	-10,5	0,00
5	H ₂	2,0	0,0	32,8	-10,4	10,1	-2,2	-0,15
4	Ar	39,9	0,0	31,0	-12,4	24,7	-10,5	0,00
6	H ₂ O	18,0	-241,8	30,2	6,7	6,5	-2,3	0,08
7	O ₂	32,0	0,0	20,5	26,7	-15,6	3,1	0,20

Теплоемкость смеси рассчитывают по формуле

$$\bar{c}_p = \sum_{i=1}^{nk} y_i c_{p,i}, \quad (3.5)$$

где y_i – мольная доля i -го компонента в смеси; $c_{p,i}$ – теплоемкость i -го компонента, кДж/кмоль·°С); nk – число компонентов.

При расчете теплового эффекта учитывается протекания реакций горения водорода, паровой конверсии метана и оксида углерода, являющихся как эндо-, так и экзотермическими. Общая величина теплового эффекта при температуре 298 °С рассчитывается по уравнению

$$\Delta_r H^0(298) = \sum_{i=1}^7 [n_{pi} \cdot \Delta_f H_i^0(298)]_{\text{прод}} - \sum_{i=1}^7 [n_{oi} \cdot \Delta_f H_i^0(298)]_{\text{исх}}, \quad (3.6)$$

где $\Delta_f H_i^0(298)$ – стандартное значение энтальпии образования i -го компонента при 298 К.

Значение энтальпии реакции $\Delta_r H^0(T)$ определяют при средней температуре $T = (T_{\text{вх}} + T_{\text{вых}})/2$ по уравнению Кирхгофа

$$\Delta_r H^0(T) = \Delta_r H^0(298) + \int_{298}^T \Delta c_p dt, \quad (3.7)$$

где Δc_p – изменение энтальпии при протекании реакции;

$$\Delta c_p = \Delta A_0 + \Delta A_1 \cdot \left(\frac{T}{1000}\right) + \Delta A_2 \cdot \left(\frac{T}{1000}\right)^2 + \Delta A_3 \cdot \left(\frac{T}{1000}\right)^3 + \Delta A_{-2} \cdot \left(\frac{T}{1000}\right)^{-2}, \quad (3.8)$$

где
$$\Delta A_i = \sum_{i=1}^7 [(n_{pi} \cdot A_{ji})]_{\text{прод.}} - \sum_{i=1}^7 [(n_{0i} \cdot A_{ji})]_{\text{исх.}}. \quad (3.9)$$

Потери теплоты в окружающую среду $Q_{\text{пот}}$ рассчитывают или принимают в количестве 1-5% от $Q_{\text{прих}}$.

В данной работе на основе теплового баланса рассчитывают количество теплоты, которое необходимо подвести в реакционную зону для обеспечения заданного температурного режима.

3.3.2 Использование в документе MathCAD внешних файлов

Ссылка на файлы MathCAD

При составлении теплового баланса необходимо использовать данные материального баланса, которые содержатся в файле *MB_konv_CH4.mcd*. Для использования этих данных в другом файле программы MathCAD необходимо выполнить следующие операции:

- Выберите в меню **Вставка** команду **Ссылка**;
- В появившемся диалоговом окне **Вставить ссылку** (рисунок 3.1) нажмите кнопку **Обзор**, найдите файл *MB_konv_CH4.mcd* и откройте его.
- Выберите переключатель **Относительный путь для ссылки**.
- Нажмите кнопку **ОК**.

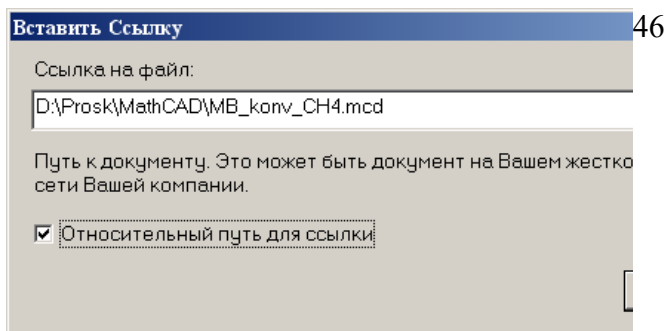


Рисунок 3.1 – Диалоговое окно «Вставить ссылку»

В создаваемом документе появится ссылка на файл (рисунок 3.2).

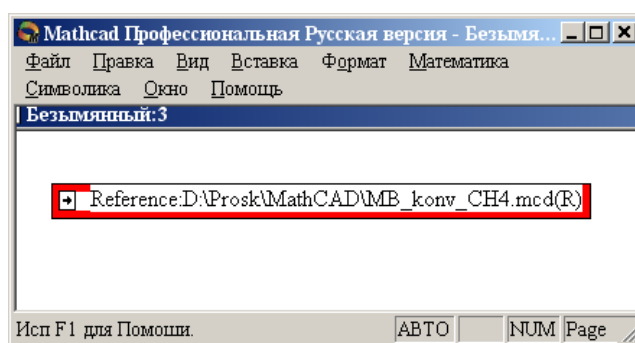


Рисунок 3.2 – Документ MathCAD со ссылкой на файл

После этого можно использовать все данные и функции пользователя, содержащиеся в присоединенном файле. При двойном щелчке мыши на ссылке открывается присоединенный файл.

Ввод данных из файлов Excel

Для расчета теплоты потоков, поступающих в реактор и покидающих его, теплового эффекта протекающих в аппарате реакций требуются данные по теплоемкости, энтальпии отдельных компонентов, которые могут содержаться в других файлах, например, таблицах Excel. Для использования этих данных в документе MathCAD необходимо выполнить следующие действия:

- Выберите в меню **Вставка** команду **Компонент**;
- В появившемся диалоговом окне **Component Wizard** в списке выберите Excel и нажмите кнопку **Next >**. Появится диалоговое окно **Excel setup Wizard** (рисунок 3.3).

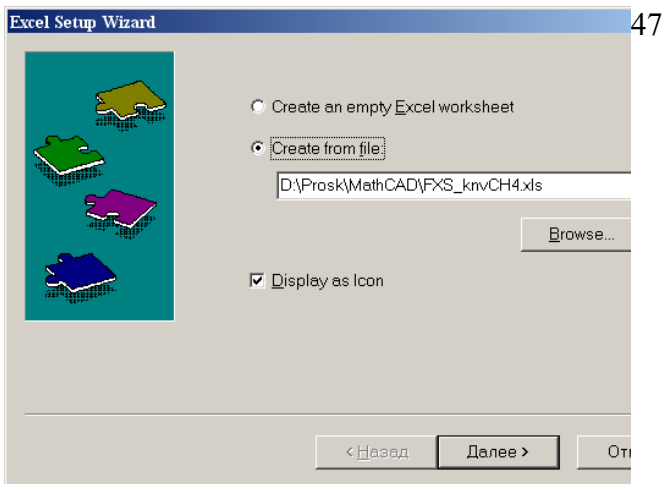


Рисунок 3.3 – Диалоговое окно *Excel setup Wizard*

- В окне **Excel setup Wizard** установите флажок на пункте **Create from file**, нажмите кнопку **Обзор (Browse...)**, найдите файл **FXS_knvCH4.xls** и откройте его.
- Установите переключатель **Display as icon**.
- Нажмите кнопку **Далее >**.
- В появившемся новом диалоговом окне **Excel setup Wizard** (рисунок 3.4) в окне **Output** укажите для каждой переменной диапазон ячеек электронной таблицы Excel, из которых будут выводиться данные.

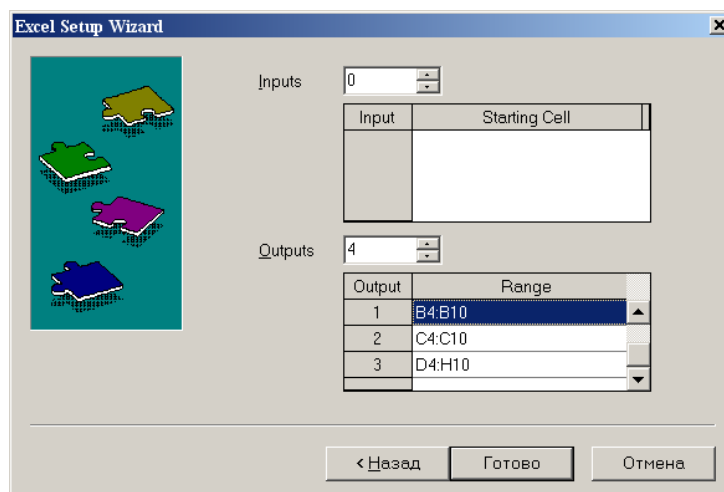


Рисунок 3.4 – Новое диалоговое окно «*Excel setup Wizard*»

- Нажмите кнопку **Готово**.
- В документе MathCAD появится значок электронной таблицы Excel и *местозаполнители*, обозначаемом черным прямоугольником, в которые необходимо ввести имена переменных.

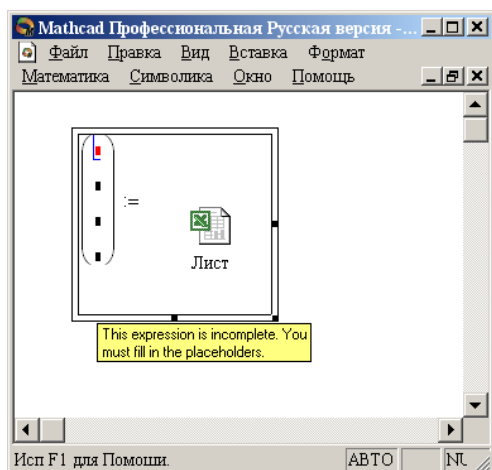


Рисунок 3.5 – Документ MathCAD

При двойном щелчке мыши на значке открывается файл Excel. При щелчке на значке правой кнопкой мыши появляется контекстное меню, использование команд которого позволяет добавлять и удалять переменные, изменять выбранный диапазон ячеек таблицы Excel. Например, при выборе в контекстном меню команды **Properties...** открывается диалоговое окно **Excel Component Properties** (рисунок 3.6), позволяющее производить изменения выбранных ячеек таблицы.

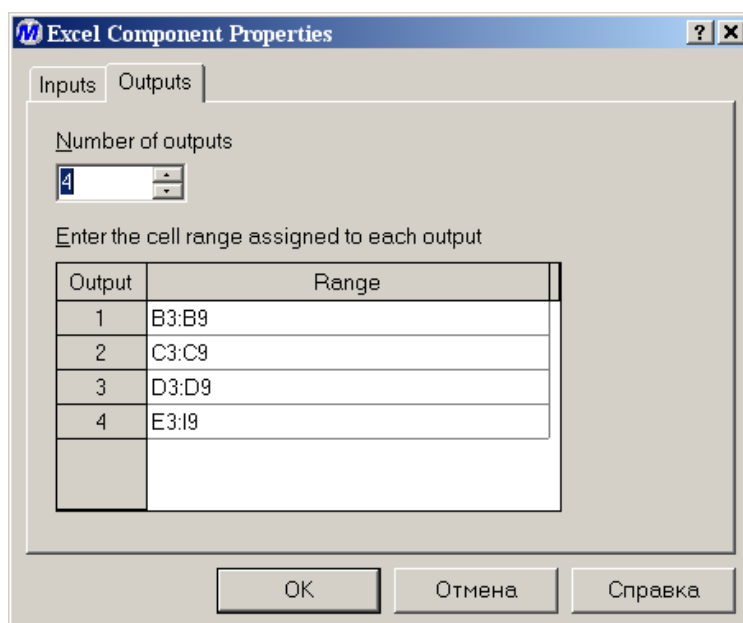


Рисунок 3.6 – Диалоговое окно Excel Component Properties

3.4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И

ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе должен содержать название работы, цель работы, исходные данные, расчет и выводы. Представляется отчет в виде документа MathCAD.

Ниже приведен пример отчета по лабораторной работе.

3.5 ПРИМЕР БАЛАНСА

50 РАСЧЕТА ТЕПЛОВОГО

Р а с с ч и т ы в а е м $\frac{T}{2} = \frac{1}{2} \times 10^7$ с п л о т у х

$$\Delta H_r = \sum_{i=1}^n \frac{k_{V_i}^p}{2} \cdot H_i \cdot f_4 - \sum_{i=1}^n \frac{k_{V_i}^c}{2} \cdot H_i \cdot f_4 \quad \Delta H_{0r} = 0,2 \cdot 10^7 \text{ Дж} / \text{ч}$$

$$j: 1..5 \cdot \Delta K_j = \sum_{i=1}^n \frac{k_{V_i}^p}{2} \cdot K_{i,j} \cdot f_4 - \sum_{i=1}^n \frac{k_{V_i}^c}{2} \cdot K_{i,j} \cdot f_4$$

$$\Delta C(T) = \Delta K_1 \cdot f_1 \cdot \frac{T}{0} + \Delta K_3 \cdot f_3 \cdot \left(\frac{T}{0}\right)^2 + \Delta K_4 \cdot f_4 \cdot \left(\frac{T}{0}\right)^3 + \Delta K_5 \cdot f_5 \cdot \left(\frac{T}{0}\right)^{-2}$$

$$\Delta H(T) = \Delta H_r + \int_0^T \frac{\Delta C(T)}{9} dt \quad \Delta H(T) = 2 \cdot 10^7 \text{ Дж} / \text{ч} \quad \Delta H(T) : \Delta H(T)$$

Р а с с ч и т ы Q в $Q = 10^6$ Вт п л о т о ж и т ь 9 Дж / ч

Р а с с ч и т ы в а е м к о л и ч е с т в

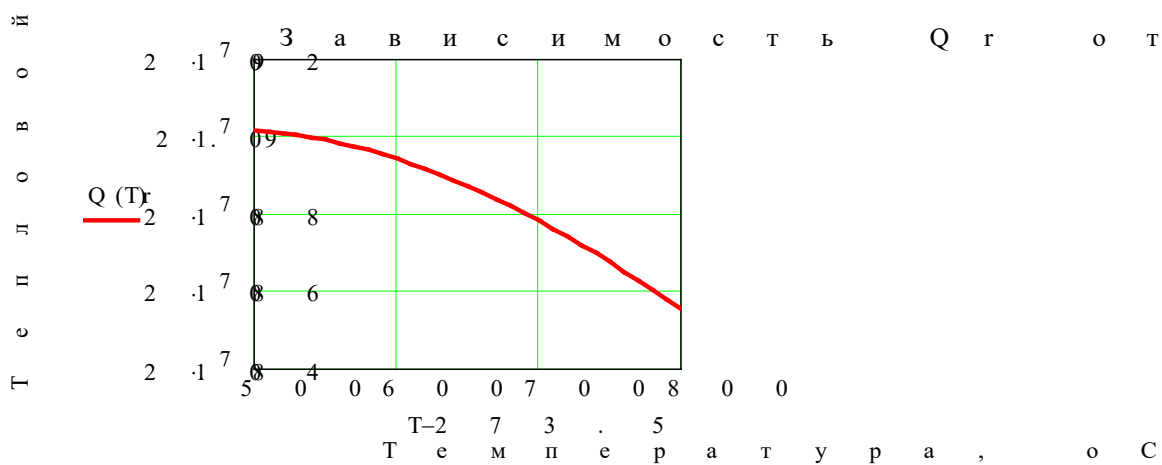
$$Q : t(Q - P) = Q(T) + Q \quad Q = 10^7 \text{ Дж} / \text{ч} \quad \text{и} \quad \frac{Q}{3} = 10^6 \text{ Дж} / \text{ч}$$

Р а с с ч и т а н н ы е д а н н ы е с

Тепловой баланс процесса паровой конверсии			
Приход		Расход	
Статья	кДж/ч	Статья	кДж/ч
Входной поток	43896427	Выходной поток	53531780
Подвод теплоты	40840597	Теплота хим.реакций	29010423
		Потери	2194821
Итого:	84737024	Итого:	84737024

(Q Q Q Q (Tr) Q п) о т

З а д а н и е с т р о и т ь г р а ф и к з а т е м п е р а т у р ы $T: 5 = 02\ 07,53 + 2\ 07.85 - 02\ 017\ 3 . 1$



3.6 ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ

РАБОТЫ

- 1 Дайте определение закона сохранения энергии применительно к тепловому балансу химического процесса.
- 2 Приведите уравнение теплового баланса.
- 3 Как подсчитывают теплоту потока?
- 4 Приведите уравнение расчета средней теплоемкости потока.
- 5 Каким образом рассчитывают тепловой эффект реакции при заданной температуре?
- 6 Как осуществляют использование в документе MathCAD данных, содержащихся в других документах?
- 7 Приведите порядок действий для использования данных, содержащихся в электронной таблице Excel.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климова, Г. Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. Н. Климова. – Электрон. текстовые данные. – Томск : Томский политехнический университет, 2014. – 180 с. – 978-5-4387-0380-8. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34743.html>.
2. Федоренко, В. Ф. Ресурсосбережение в АПК [Электронный ресурс] : научное издание / В. Ф. Федоренко. — Электрон. текстовые данные. — М. : Росинформагротех, 2012. — 384 с. — 978-5-7367-0897-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/15769.html>.
3. Кондауров, Б. П. Общая химическая технология: учеб. пособие / Б. П. Кондауров, В. И. Александров, А. В. Артемов. – М.: Академия, 2011. – 336 с.
4. Общая химическая технология: Учебник для технических вузов / А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.С. Беренгартен и др. – М.: ИКЦ

5. Расчеты химико-технологических процессов: Учебное пособие для вузов / А.Ф. Туболкин, А.С. Тумаркина, Э.Я. Тарат и др.; под ред. И.П. Мухленова. – Л.: Химия, 1982. – 248 с.

6. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии: учебное пособие / О.А. Тишин, В.Н. Харитонов, Н.Ц. Гатапова, А.Н. Колиух. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2012. – 92 с. Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/244/80244/files/gatapova.pdf>.

7. Ганжа, В. Л. Основы эффективного использования энергоресурсов. Теория и практика энергосбережения [Электронный ресурс] : монография / В. Л. Ганжа. – Электрон. текстовые данные. – Минск : Белорусская наука, 2007. – 451 с. – 978-985-08-0810-3. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12310.html>.

8. Справочник азотчика: Физико-химические свойства газов и жидкостей. Производство технологических газов. Очистка технологических газов. Синтез аммиака. – М.: Химия, 1986.– 512с.

9. Справочник нефтехимика. В двух томах. Т.1. /Под ред. С.К. Огородникова. – Л.: Химия, 1978. – 496 с.

Энерго- и ресурсосберегающие технологии

Методические указания

к практическим занятиям для студентов ЗФО направления
15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Составил доц. А.Л. Проскурнин

Рецензент: доц. А.И. Свидченко

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Методические указания для самостоятельных занятий по изучению дисциплины

Направление подготовки	15.03.02 Технологические машины и оборудование
Профиль	Технологическое оборудование химических и нефтехимических производств
Квалификация выпускника	бакалавр
Форма обучения	заочная
Год начала обучения	2020

Невинномысск, 2020

Оглавление

Оглавление	3
1 Пояснительная записка.....	4
2 Методические рекомендации по самостоятельному изучению дисциплины	6
3 Подготовка к лекциям.....	9
4 Самостоятельное изучение темы. Конспект.....	10
5 Методические указания по подготовке реферата	13
Список рекомендуемой литературы.....	17

1 Пояснительная записка

Дисциплина «Энерго- и ресурсосберегающие технологии» относится к дисциплинам по выбору вариативной части учебного плана Б1.В.ДВ.02.01. Ее освоение происходит в 8 семестре. Целью освоения дисциплины является формирование набора профессиональных компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 15.03.02 Технологическое оборудование химических и нефтехимических производств путем ознакомления студентов с общими принципами ресурсосберегающих технологий в химической промышленности, а также изучение основных приемов энерго- и ресурсосбережения в химической технологии.

Основными задачами изучения дисциплины «Энерго- и ресурсосберегающие технологии» являются:

- ознакомление студентов с общими принципами ресурсосбережения и устойчивого развития химической промышленности;
- развитие творческого мышления студентов, изучение способов реализации технологических процессов, применение прогрессивных методов эксплуатации технологического оборудования;
- привитие студентам знаний и навыков в оценке функционирования химических предприятий и способов повышения их эффективности, минимизации воздействия на окружающую среду;
- изучение и усвоение принципов создания энергоресурсосберегающих технологий, освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции;

В результате освоения учебной дисциплины студент должен овладеть следующими общепрофессиональными и профессиональными компетенциями:

ПК-12 – способностью участвовать в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции, проверять качество монтажа и наладки при испытаниях и сдаче в

эксплуатацию новых образцов изделий, узлов и деталей выпускаемой продукции;

ПК-15 – умением выбирать основные и вспомогательные материалы, способы реализации технологических процессов, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении технологических машин.

Объем учебной дисциплины:

	Астр. часов	з.е.
Объем занятий: Итого	135 ч.	5
в т.ч. аудиторных	6 ч.	
Из них:		
Лекций	3 ч.	
Лабораторных работ	- ч.	
Практических занятий	3 ч.	
Самостоятельной работы	129 ч.	
Зачет с оценкой 8 семестр		

Важной формой образовательного процесса является самостоятельная работа студентов. При изучении дисциплины «Энерго- и ресурсосберегающие технологии» организация самостоятельной работы студентов представляет собой внеаудиторную самостоятельную работу (изучение литературных источников, подготовка и написание реферата, подготовка к практическим занятиям и др.).

Цель самостоятельной работы – научить студента осмысленно и самостоятельно работать сначала с учебным материалом, затем с научной информацией, заложить основы самоорганизации и самовоспитания с тем, чтобы привить умение в дальнейшем непрерывно повышать свою квалификацию. Активная самостоятельная работа студентов возможна только при наличии серьезной и устойчивой мотивации. Самый сильный мотивирующий фактор – это подготовка к дальнейшей эффективной профессиональной деятельности.

2 Методические рекомендации по самостоятельному изучению дисциплины

На первом этапе необходимо ознакомиться с рабочей программой дисциплины, в которой рассмотрено содержание тем дисциплины лекционного курса, взаимосвязь тем лекций с практическими занятиями, темы и виды самостоятельной работы. В таблице 1 приведена технологическая карта самостоятельной работы студента, в которой по каждому виду самостоятельной работы предусмотрены определённые формы отчетности. На самостоятельное изучение литературы предусмотрено 129 астрономических часов, на выполнение реферата – 11,25 часов, приведено примерное время на изучение тем дисциплин.

Перечень тем, их содержание представлены в таблице 3.

Таблица 1 – Технологическая карта самостоятельной работы студента

Коды реализуемых компетенций	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе (астр.)		
				СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
4 семестр						
ПК-15	Самостоятельное изучение темы 1.	Конспект	Собеседование	14,25	0,75	15
ПК-15	Самостоятельное изучение темы 2.	Конспект	Собеседование	19	1,0	20
ПК-15	Самостоятельное изучение темы 3.	Конспект	Собеседование	20,9	1,1	22
ПК-15	Самостоятельное изучение темы 4.	Конспект	Собеседование	17,1	0,9	18
ПК-12, ПК-15	Самостоятельное изучение темы 5.	Конспект	Собеседование	20,9	1,1	22
ПК-12, ПК-15	Самостоятельное изучение темы 6.	Конспект	Собеседование	18,76	0,99	19,75
ПК-12, ПК-15	Подготовка реферата	Реферат	Защита	10,69	0,56	12,25
ПК-15	Подготовка к практическим занятиям	Конспект	Собеседование	2,85	0,15	3
Итого за 4 семестр				122,45	6,55	129
Итого				122,45	6,55	129

Самостоятельная работа студента в ходе **лекционных занятий** включает изучение вопросов теории, вынесенных на самостоятельное изучение в соответствии с рабочей программой дисциплины, проработку лекционных материалов для подготовки к практическим занятиям и контролю знаний на лекционных занятиях (опрос) и подготовку вопросов для обсуждения при консультации с преподавателем.

Самостоятельная работа в ходе **практических занятий** включает выполнение заданий к практическим занятиям, в частности подготовка теоретических вопросов, выполнение заданий, которые приведены в методических указаниях к практическим занятиям и фондах оценочных средств.

Для успешного освоения дисциплины, необходимо самостоятельно детально изучить темы дисциплины. Рекомендуемые источники информации приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Рекомендуемые источники информации

№ темы	Темы для самостоятельного изучения	Рекомендуемые источники информации (№ источника)		
		Основная	Дополнительная	Методическая
1.	Понятие ресурсов и эффективность их использования.	1, 2	1, 2, 3	1, 2
2.	Сырьевая и энергетическая база химической промышленности.	1, 2	1, 2, 3	2
3.	Особенности эксплуатации химико-технологической системы.	1, 2	1, 2, 3	–
4.	Основные принципы создания безотходных производств.	1, 2	1, 2, 3	–
5.	Основные направления энерго- и ресурсосбережения в химической технологии.	1, 2	1, 2, 3	–
6.	Интеграция процессов и производств.	1, 2	1, 2, 3	–

Таблица 3 – Темы для самостоятельного изучения дисциплины «Энерго- и ресурсосберегающие технологии» и примерное время на изучение

Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	час
1. Понятие ресурсов и эффективность их использования	15
Расчет показателей эффективности использования сырьевых ресурсов. Расчет показателей эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (показатель энергетической эффективности, коэффициент полезного использования энергии, к.п.д., потери энергии, полная энергоемкость продукции, энергоемкость производства продукции). Нормативно-правовая база энерго- и ресурсосбережения. Особенности энерго- и ресурсосбережения в химической и газовой промышленности.	
Тема 2. Сырьевая и энергетическая база химической промышленности	20
Сырьевая база. Принципы обогащения сырья. Обоснование выбора сырья. Сырьевая база для отраслей неорганических и органических производств. Вода и воздух в химической промышленности. Энергетическая база. Использование внутренних ресурсов химических предприятий. Источники вторичных энергоресурсов.	
Тема 3. Особенности эксплуатации химико-технологической системы	22
Расчет эффективности химико-технологической системы. Управление химическим производством. Пуск и остановка химического производства. Освоение новых технологических процессов и оборудования.	
Тема 4. Основные принципы создания безотходных производств	18
Комплексное использование сырья, создание принципиально новых и совершенствовании действующих технологий, создании замкнутых водо- и газооборотных циклов, кооперировании предприятий, прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования и создание территориально-производственных комплексов.	
Тема 5. Основные направления энерго- и ресурсосбережения в химической технологии	22
Законодательные аспекты ресурсо- и энергосбережения. Основные принципы энергосбережения. Направления инновационной политики в современных энергосберегающих технологиях. Пути повышения эффективности ресурсосбережения. Направления ресурсосбережения. Взаимосвязь энерго- и ресурсосбережения. Задачи рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов на различных иерархических уровнях.	
Тема 6. Интеграция процессов и производств. Энерготехнологические производства	19,75
Анализ энерго-химико-технологической схемы производства аммиака. Пути снижения энергопотребления производства аммиака. Комплексные производства. Анализ химико-теплоэнергетической системы	
Итого	113,75

3 Подготовка к лекциям

Главное в период подготовки к лекционным занятиям – научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения. Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтрашний день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Слушание и запись лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Конспект лекций лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать пункты плана лекции, предложенные преподавателям. Принципиальные места,

определения, формулы и другое следует сопровождать замечаниями «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек. Лучше если они будут собственными, чтобы не приходилось просить их у однокурсников и тем самым не отвлекать их во время лекции. Целесообразно разработать собственную «маркографию» (значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

4 Самостоятельное изучение темы. Конспект

Конспект – наиболее совершенная и наиболее сложная форма записи. Слово «конспект» происходит от латинского «conspectus», что означает «обзор, изложение». В правильно составленном конспекте обычно выделено самое основное в изучаемом тексте, сосредоточено внимание на наиболее существенном, в кратких и четких формулировках обобщены важные теоретические положения.

Конспект представляет собой относительно подробное, последовательное изложение содержания прочитанного. На первых порах целесообразно в записях ближе держаться тексту, прибегая зачастую к прямому цитированию автора. В дальнейшем, по мере выработки навыков конспектирования, записи будут носить более свободный и сжатый характер.

Конспект книги обычно ведется в тетради. В самом начале конспекта указывается фамилия автора, полное название произведения, издательство, год и место издания. При цитировании обязательная ссылка на страницу книги. Если цитата взята из собрания сочинений, то необходимо указать соответствующий том. Следует помнить, что четкая ссылка на источник –

непременное правило конспектирования. Если конспектируется статья, то указывается, где и когда она была напечатана.

Конспект подразделяется на части в соответствии с заранее продуманным планом. Пункты плана записываются в тексте или на полях конспекта. Писать его рекомендуется четко и разборчиво, так как небрежная запись с течением времени становится малопонятной для ее автора. Существует правило: конспект, составленный для себя, должен быть по возможности написан так, чтобы его легко прочитал и кто-либо другой.

Формы конспекта могут быть разными и зависят от его целевого назначения (изучение материала в целом или под определенным углом зрения, подготовка к докладу, выступлению на занятии и т.д.), а также от характера произведения (монография, статья, документ и т.п.). Если речь идет просто об изложении содержания работы, текст конспекта может быть сплошным, с выделением особо важных положений подчеркиванием или различными значками.

В случае, когда не ограничиваются переложением содержания, а фиксируют в конспекте и свои собственные суждения по данному вопросу или дополняют конспект соответствующими материалами их других источников, следует отводить место для такого рода записей. Рекомендуется разделить страницы тетради пополам по вертикали и в левой части вести конспект произведения, а в правой свои дополнительные записи, совмещая их по содержанию.

Конспектирование в большей мере, чем другие виды записей, помогает вырабатывать навыки правильного изложения в письменной форме важные теоретических и практических вопросов, умение четко их формулировать и ясно излагать своими словами.

Таким образом, составление конспекта требует вдумчивой работы, затраты времени и труда. Зато во время конспектирования приобретаются знания, создается фонд записей.

Конспект может быть текстуальным или тематическим. В текстуальном конспекте сохраняется логика и структура изучаемого произведения, а запись ведется в соответствии с расположением материала в книге. За основу тематического конспекта берется не план произведения, а содержание какой-либо темы или проблемы.

Текстуальный конспект желательно начинать после того, как вся книга прочитана и продумана, но это, к сожалению, не всегда возможно. В первую очередь необходимо составить план произведения письменно или мысленно, поскольку в соответствии с этим планом строится дальнейшая работа. Конспект включает в себя тезисы, которые составляют его основу. Но, в отличие от тезисов, конспект содержит краткую запись не только выводов, но и доказательств, вплоть до фактического материала. Иначе говоря, конспект – это расширенные тезисы, дополненные рассуждениями и доказательствами, мыслями и соображениями составителя записи.

Как правило, конспект включает в себя и выписки, но в него могут войти отдельные места, цитируемые дословно, а также факты, примеры, цифры, таблицы и схемы, взятые из книги. Следует помнить, что работа над конспектом только тогда будет творческой, когда она не ограничена текстом изучаемого произведения. Нужно дополнять конспект данными из других источников.

В конспекте необходимо выделять отдельные места текста в зависимости от их значимости. Можно пользоваться различными способами: подчеркиваниями, вопросительными и восклицательными знаками, репликами, краткими оценками, писать на полях своих конспектов слова: «важно», «очень важно», «верно», «характерно».

В конспект могут помещаться диаграммы, схемы, таблицы, которые придадут ему наглядность.

Составлению тематического конспекта предшествует тщательное изучение всей литературы, подобранной для раскрытия данной темы. Бывает, что какая-либо тема рассматривается в нескольких главах или в разных

местах книги. А в конспекте весь материал, относящийся к теме, будет сосредоточен в одном месте. В плане конспекта рекомендуется делать пометки, к каким источникам (вплоть до страницы) придется обратиться для раскрытия вопросов. Тематический конспект составляется обычно для того, чтобы глубже изучить определенный вопрос, подготовиться к докладу, лекции или выступлению на семинарском занятии. Такой конспект по содержанию приближается к реферату, докладу по избранной теме, особенно если включает и собственный вклад в изучение проблемы.

5 Методические указания по подготовке реферата

Термин «реферат» (от латинского *refero* – сообщаю) означает краткое письменное изложение сущности какой-либо проблемы. Однако в современном понимании реферат - это не только пересказ прочитанного, но и анализ, обобщение и аргументированное изложение собственной точки зрения на рассматриваемую проблему.

В процессе написания реферата студентом должны быть решены следующие задачи:

- выбор темы реферата;
- подготовка и обработка материала по выбранной теме;
- изложение материала с целью последовательного раскрытия основных вопросов темы;
- правильное и аккуратное оформление реферата согласно требованиям;
- значение и четкое изложение темы на защите реферата

Ключевым этапом творчества студента является выбор темы реферата.

Темы рефератов

Базовый уровень

1. Возобновляемые топливно-энергетические ресурсы и их рациональное использование.
2. Энерго- и ресурсосбережение и промышленная экология.

3. Вторичные материальные ресурсы.
4. Энергетический метод анализа совершенства химико-технологических систем.
5. Принцип совмещения технологических процессов.
6. Пути снижения энергопотребления в производстве аммиака.
7. Рациональное и комплексное использование сырьевых ресурсов.

Принципы обогащения сырья.

8. Использование внутренних ресурсов химических предприятий.

Источники вторичных энергоресурсов.

9. Обоснование выбора сырья. Сырьевая база для отраслей неорганических и органических производств.
10. Процессы с рекуперацией механической и тепловой энергии.
11. Энтропийный метод анализа совершенства химико-технологических систем.
12. Реакционно-массообменные процессы.
13. Энергосберегающие технологии.
14. Переработка отходов химической промышленности.
15. Системы сбора и обработки информации о расходе материальных и энергетических ресурсов.
16. Принципы выбора энергоресурсов для химических производств.
17. Сырьевые ресурсы и эффективность их использования. Показатели эффективности использования сырьевых ресурсов.
18. Принципы выбора энергоресурсов для химических производств.
19. Системы энергоснабжения промышленных предприятий.
20. Основные принципы создания безотходных производств.

Повышенный уровень

1. Особенности энерго- и ресурсосбережения в химической и газовой промышленности.
2. Системный подход к решению проблем энерго- и ресурсосбережения. Информационные системы.
3. Эксергетические балансы и характеристики химико-технологических систем.
4. Энергоэкологический аудит – экономический инструмент управления энергосбережением.

5. Эксергетический метод анализа совершенства химико-технологических систем.
6. Энергетический менеджмент.
7. Направления инновационной политики в современных энергосберегающих технологиях.
8. Пути повышения эффективности ресурсосбережения.
9. Энерго-химико-технологическая схема производства аммиака.
10. Законодательные аспекты ресурсо- и энергосбережения.
11. Единство химических и энергетических преобразований.

Выбор темы производится обычно по предложенному преподавателем перечню в соответствии с программой дисциплины и с учетом своих интересов. Учитываются имеющиеся источники и литература по теме работы, их доступность. Прежде всего, необходимо воспользоваться литературой, рекомендованной учебной программой, а затем расширить список источников. Следует использовать специальные журналы, где Вы найдете новейшую научную, информацию. Эффективность написания реферата и появление интереса к дисциплине у студентов повышаются при выборе темы, основанной на конкретных первоисточниках, оригинальных научных публикациях.

Интересным является тематический портал по энерго- и ресурсосбережению: <http://www.energsovet.ru>.

Методические указания по содержанию и оформлению реферата

Реферат имеет следующую структуру: титульный лист, содержание, введение, основная (главная) часть, заключение, список, использованной литературы.

Содержание помещают в начале реферата. Все страницы нумеруются. На титульном листе и содержании номера страниц не проставляются, но они учитываются, и, следовательно, введение начинается со страницы под номером 3.

Все заголовки должны быть написаны в той же последовательности, в какой они приводятся в работе.

Объем реферата составляет 15- 20 страниц. Во введении (1-2 стр.) дается постановка вопроса, объясняется выбор темы, ее значимость и актуальность, указываются цель и задачи реферата, дается характеристика используемой литературы.

Каждый пункт основной части раскрывает отдельную проблему или одну из ее сторон и логически является продолжением друг друга.

В заключении (1-2 стр.) подводятся итоги, делаются выводы, которые свидетельствуют о том, насколько глубоко и сильно студент разобрался в теме, сумел понять и выявить главное.

После заключения принято помещать библиографический список используемой литературы. Этот список составляет одну из существенных частей работы и отражает самостоятельную творческую работу студента.

Правила оформления реферата:

Текст должен быть подготовлен в текстовом редакторе Word for Windows.

Текст должен иметь следующие параметры:

- формат бумаги А4 (210×297 мм), бумага белая;
- поля: верхнее и нижнее до нумерации стр. – 20 мм, левое – 30 мм, правое – 15 мм;
- межстрочное расстояние – полуторное (т. е. на одной странице должно быть не более 29 строк и 60 ± 2 знака в одной строке, учитывая пробелы);
- переплет 0 см;
- ориентация книжная;
- шрифт Times New Roman;
- размер шрифта 14 пунктов;
- красная строка – 1,25 см;

- формулы выравниваются по центру, их нумерация по правому краю в круглых скобках;
- рисунки нумеруются снизу (Рисунок 1 – Название), таблицы – сверху (Таблица 1 – Название);
- страницы нумеруются сверху, по правому краю;
- необходимо различать в тексте дефис (-) (например, черно-белый, бизнес-план) и тире (–) (Alt + «–»);
- если вы используете кавычки, они должны иметь вид так называемых «ёлочек» (« »).

Список рекомендуемой литературы

1. Основная литература:

1. Егоров, А. Н. Отходы нефтехимических производств - сырьё для ресурсосберегающих технологий Электронный ресурс : Учебное пособие / А. Н. Егоров, Г. И. Егорова. - Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2016. - 190 с. - ISBN 978-5-9961-1255-5.

2. Левенец, Т.В. Основы химических производств Электронный ресурс : учебное пособие / Т.А. Ткачева / А.В. Горбунова / Т.В. Левенец. - Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2015. - 122 с. - ISBN 978-5-7410-1292-52.

Дополнительная литература:

1. Вильсон, Е. В. Методы очистки производственных сточных вод : учеб. пособие / Е. В. Вильсон ; Рост. гос. строит. ун-т. - Ростов н/Д : РГСУ, 2008. - 144 с.

2. Орлов, Д. С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении : [учеб. пособие] / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лозановская. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 2002. - 334 с. : ил. - На учебнике гриф: Рек.МО. - Прил.: с. 312-319. - Библиогр.: с. 320-322. - ISBN 5-06-004099-2

3. Интернет-ресурсы:

1. <http://biblioclub.ru/> – ЭБС «Университетская библиотека онлайн».
2. <http://catalog.ncstu.ru/> – электронный каталог ассоциации электронных библиотек учебных заведений и организаций СКФО
3. <http://window.edu.ru/> – единое окно доступа к образовательным ресурсам.
4. <http://www.iprbookshop.ru> – ЭБС.
5. <http://www.energsovet.ru> – Тематический портал по энерго- и ресурсосбережению.

