

ФГБОУ ВПО "ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ"

Кафедра "Автоматизированное проектирование технологического оборудования"

**РАСЧЕТЫ ОБОРУДОВАНИЯ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Учебное пособие.

Автор: д.т.н., проф. Карпушкин С.В.

Тамбов 2011

1. ВВЕДЕНИЕ

Технологическая система (ТС) - это упорядоченная последовательность технологических процессов производства одного или нескольких продуктов и множество аппаратов с системой материальных и энергетических связей между ними, необходимое и достаточное для производства этих продуктов. Технологическая система может выпускать готовую продукцию производства или полупродукты, идущие в дальнейшую обработку на других ТС, обеспечивать аппараты других систем теплоносителями и хладагентами, утилизировать отходы производства.

По режиму функционирования различают ТС *периодического действия*, продукция которых выпускается отдельными партиями, последовательно проходящими все стадии обработки, *непрерывного действия*, предназначенные для обработки потоков сырья и промежуточных продуктов, и *комбинированные*, когда часть аппаратурных стадий системы оснащаются основными аппаратами периодического действия, а остальные - непрерывного. Режим функционирования комбинированных систем в целом периодический, т.е. продукция выпускается партиями. Аппараты непрерывного действия запускаются по мере готовности следующей партии к обработке, а по окончании ее обработки - останавливаются.

Аппаратурные стадии технологической системы – это совокупности аппаратов, в которых реализуются отдельные этапы процессов получения продукции. Для оснащения аппаратурных стадий ТС непрерывного действия и большой мощности, ориентированных на выпуск одного вида продукции, например, серной кислоты, минеральных удобрений, нефтепродуктов, используются специализированные аппараты, сконструированные для реализации конкретных технологических процессов (контактный аппарат для окисления сернистого газа, кольцевая суперфосфатная камера, колонна каталитического крекинга нефти). Большинство этапов синтеза продукции ТС периодического действия, особенно многопродуктовых, реализуется в стандартных аппаратах, выпускаемых предприятиями химического машиностроения. Ряды типоразмеров и параметры стандартных аппаратов определяются ГОСТами и содержатся в каталогах.

Оборудование ТС подразделяется на основное, используемое для реализации этапов технологического процесса выпуска продукции (химический синтез, выделение продуктов), и вспомогательное, предназначенное для временного хранения исходных веществ и промежуточных продуктов, транспорта веществ. Основное оборудование - это реакторы, колонны, фильтры и центрифуги, сушилки, грануляторы, кристаллизаторы, измельчители, классификаторы, смесители; вспомогательное - мерники, сборники, промежуточные емкости, теплообменники, насосы, транспортеры. Машины и аппараты для вентиляции и отопления производственного помещения, улавливания и обезвреживания отходов, погрузки и разгрузки, обеспечения ТС сырьем и различными видами энергии, относятся к общецеховому (общецеховому) оборудованию.

1.1 Расчеты оборудования ТС на различных этапах их проектирования

Понятие "расчет оборудования" – очень емкое и многозначное. Необходимость в расчетах оборудования ТС возникает при проектировании новых произ-

водств и перепрофилирования действующих на выпуск новой продукции. На различных этапах этих работ, см. рисунок 1.1, расчеты оборудования проводятся с разной степенью детализации и преследуют разные цели.

На этапе технико-экономического обоснования расчет оборудования – это определение способа реализации выбранной технологии выпуска продукции, т.е.

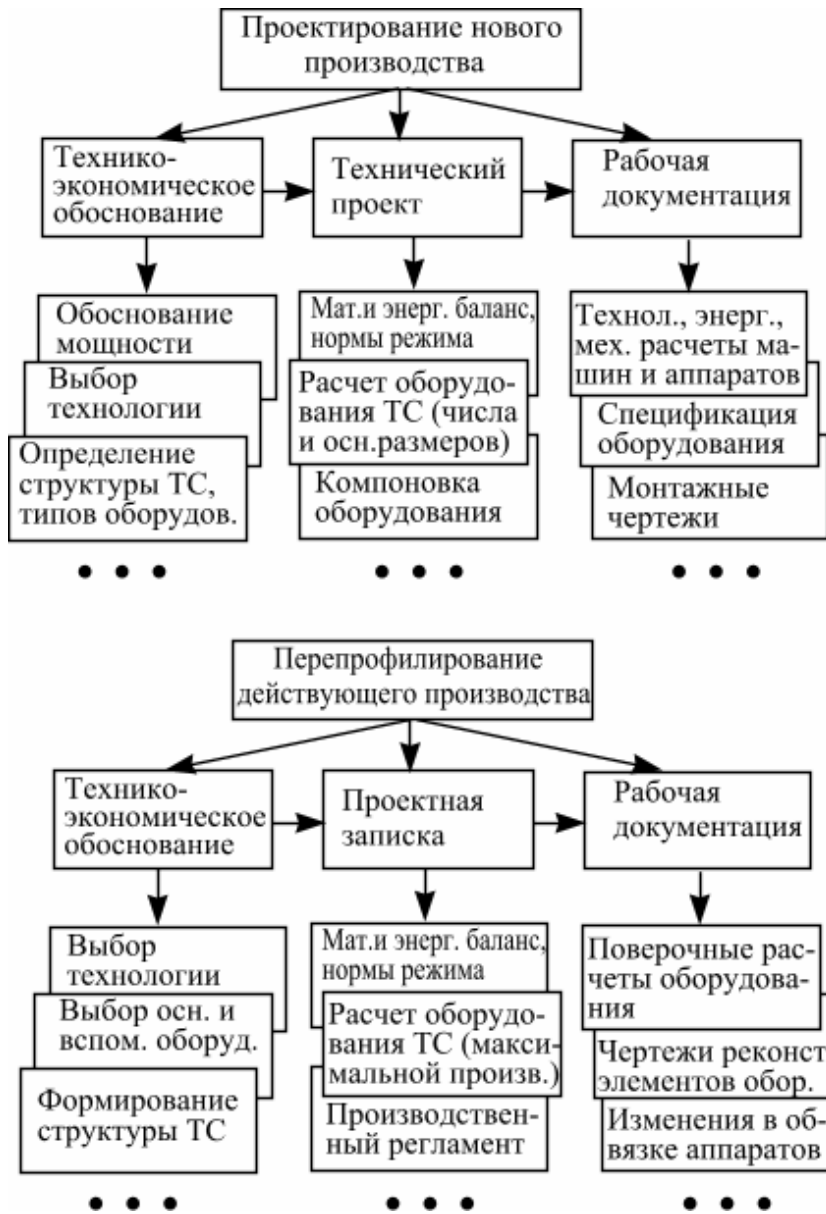


Рис. 1.1. Место и виды расчетов оборудования ТС

определение числа аппаратурных стадий ТС, типов машин и аппаратов, образующих их АО, и структуры материальных потоков системы. Эту работу выполняют сотрудники научно-исследовательских организаций, разрабатывающих технологии производства продукции различных отраслей промышленности.

Расчет оборудования ТС на этапе разработки технического проекта или проектной записки выполняют работники технологических отделов или групп проектных организаций и предприятий. При проектировании нового производства необходимо определить основные размеры (производительности) и число аппаратов указанных типов, которые способны обеспечить заданную производительность системы. Целью этого расчета является ответ на во-

прос: сколько аппаратов и каких размеров следует установить на аппаратурных стадиях ТС для того, чтобы переработать материальные потоки, необходимые для выпуска требуемого количества продукции за отведенное время. Целью расчета при перепрофилировании действующего производства является определение максимальной производительности ТС, аппаратурное оформление которой фиксировано.

На этапе рабочей документации расчеты оборудования проводятся в отделах оборудования проектных организаций или проектно-конструкторских отделах предприятий. Для каждого отдельного аппарата ТС выполняется технологический и механический расчет. Цель технологического расчета – определить пригодность аппарата выбранной конструкции для осуществления указанных процессов, нормы технологического режима их реализации (температура, давление, продолжи-

тельность) и рассчитать его производительность по заданному основному размеру (поверочный расчет) или наоборот – основные размеры по заданной производительности (проектный расчет). Расчет может быть проведен в соответствии с методикой, утвержденной ГОСТ, РД, РТМ и на основе исследования закономерностей протекания реализуемого процесса с использованием модели машины или аппарата – физической или математической. Почти всегда технологический расчет дополняют энергетическим: определением затрат различных видов энергии, необходимых для функционирования единиц оборудования ТС.

По окончании технологического расчета, а иногда и совместно с ним, выполняется механический расчет машин и аппаратов ТС (проектный или поверочный). Для неподвижных элементов оборудования его целью является проверка прочности и устойчивости в условиях, определяемых технологией производства, выбор конструкционных материалов и защитных покрытий. Для подвижных элементов машин и аппаратов, например вращающихся, механический расчет заключается в проверке условий виброустойчивости, жесткости и усталостной прочности. Имеются и другие виды механических расчетов – на малоцикловую нагрузку, на ветровую и сейсмическую нагрузку и т.д. Для этого вида расчета оборудования также существуют различные методики: от утвержденных ГОСТами, РД и РТМ до использования метода конечных элементов.

Взаимосвязь различных видов расчета оборудования ТС иллюстрирует рисунок 1.2.

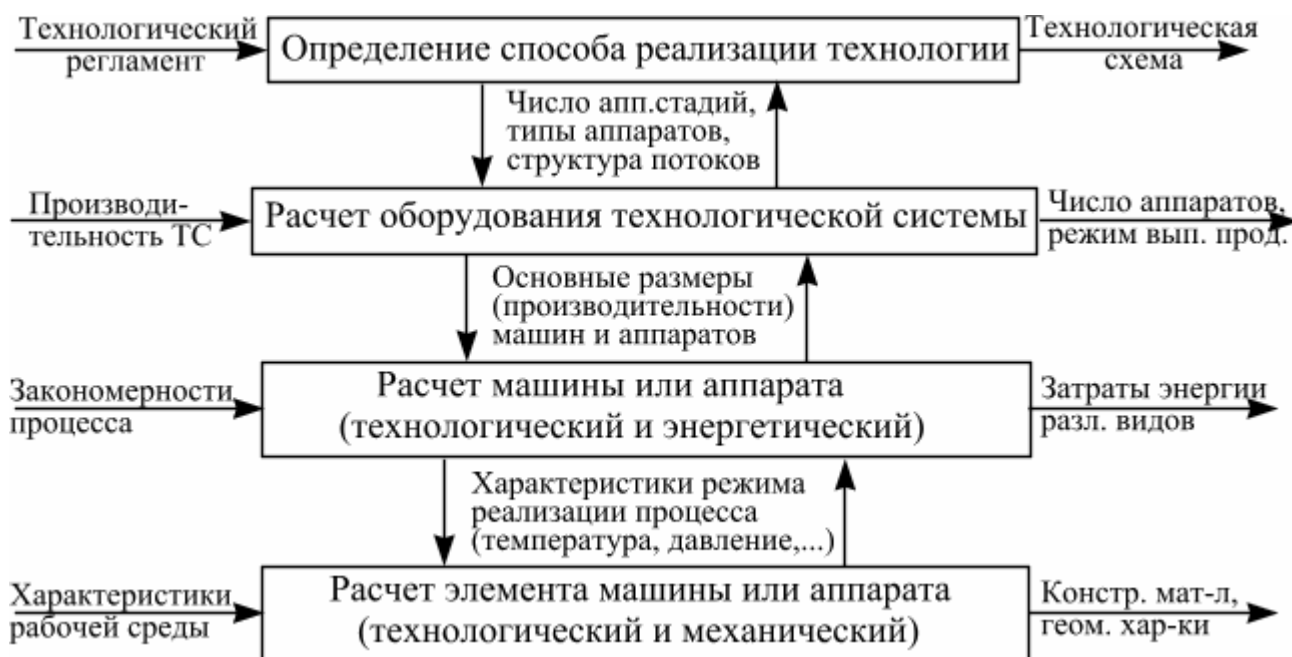


Рис. 1.2. Виды расчета оборудования ТС и их взаимосвязь

1.1. Исходные данные для расчета

Исходными данными для расчета оборудования ТС являются некоторые результаты технико-экономического обоснования производства (ТЭО), а также материальный баланс и нормы технологического режима реализации стадий выпуска продукции.

Из результатов ТЭО необходимы следующие сведения:

- мощность производства и ассортимент продукции;
- технологические регламенты синтеза продуктов выбранного ассортимента;
- число аппаратурных стадий ТС;
- структура потоков при выпуске каждого продукта;
- типы основных аппаратов стадий системы.

Заметим, что при проектировании нового производства обычно выбирается наиболее современная технология выпуска продукции, а при перепрофилировании действующего технология выбирается с учетом номенклатуры и состояния имеющегося оборудования, возможностей его модернизации и обновления.

Расчет материальных балансов стадий, связанных с химическими превращениями, проводят на основании стехиометрических уравнений реакций с учетом соотношения реагирующих веществ, степени превращения и выходов от теоретического, допустимых потерь сырья (для периодических процессов), состава исходных веществ и массы, поступающей с предыдущих стадий. Для стадий, где химические превращения отсутствуют (фильтрация, сушка, упаривание), необходимы данные о составе входящих и выходящих потоков.

Уравнение покомпонентного материального баланса для многостадийного производства имеет вид:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^q \sum_{i=1}^u \sum_{k=1}^p g_{jri} \cdot x_{jrik} = 0,$$

где j – номер стадии производства, r – номер операции на стадии (для периодических процессов), i – номер потока, k – номер чистого компонента, g_{jri} – массовый расход i -го потока для r -й операции j -й стадии, x_{jrik} – доля k -го компонента в i -м потоке для r -й операции j -й стадии.

Результатами расчета материального баланса, необходимыми для расчета оборудования ТС, являются объемные v_j или (и) массовые m_j материальные индексы ее стадий. Для ТС периодического действия и комбинированных это объем или масса веществ, которые необходимо обработать на j -й стадии для получения 1т готового продукта, для систем непрерывного действия – часовые производительности оборудования стадий по обрабатываемой массе.

Нормы технологического режима для стадий ТС – это условия реализации этапов производства продукции. Для расчетов оборудования стадий ТС, оснащаемых основными аппаратами различных типов, используются следующие нормы: время пребывания массы в аппарате τ_j , скорость течения массы через аппарат w_j , удельные производительности аппаратов выбранного типа по обрабатываемой массе a_j (на единицу рабочего объема или поверхности), рекомендуемая степень заполнения объема аппарата обрабатываемой массой ϕ_j или ее граничные значения: ϕ_j^* (максимальное) и ϕ_{*j} (минимальное).

2 РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ ТС НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Технологические системы непрерывного действия характерны для производств неорганических веществ и продуктов переработки нефти: кислот, оснований, минеральных удобрений, жидкого топлива. ТС непрерывного действия чаще всего выпускают единственный продукт в большом объеме (десятки и сотни тысяч тонн в год). Стадии, где реализуются основные этапы выпуска продукта, часто оснащаются специализированным оборудованием, предназначенным только для конкретного процесса в конкретном производстве.

2.1. Содержание и последовательность расчета

Для определения основных конструкционных размеров и количества аппаратов стадий ТС (реакторов, смесителей, фильтров, сушилок, колонн), способных обеспечить заданную производительность системы, используются следующие соотношения:

1. Если для стадии j ТС заданы значения времени пребывания массы в аппаратах (τ_j) или (и) скорости перемещения массы через аппарат (w_j), то рабочий объем каждого из n_j параллельных аппаратов непрерывного действия, установленных на этой стадии,

$$V_j = \frac{v_j \cdot \tau_j}{\phi_j \cdot n_j},$$

площадь поперечного сечения каждого из них

$$F_j = \frac{v_j}{w_j \cdot n_j},$$

а длина рабочей зоны

$$L_j = \frac{V_j}{F_j} = \frac{w_j \cdot \tau_j}{\phi_j}.$$

Если для стадии j задан массовый материальный индекс, то вместо v_j в этих формулах используется отношение m_j/ρ_j , где ρ_j – плотность среды, обрабатываемой в аппаратах стадии.

2. Если для стадии j задано значение удельной производительности аппаратов (a_j), то в зависимости от ее размерности вычисляется либо объем аппаратов

$$V_j = \frac{g_j}{a_j \cdot n_j \cdot \phi_j},$$

либо площадь рабочей поверхности

$$F_j = \frac{g_j}{a_j \cdot n_j}.$$

В этих формулах $g_j = v_j$, если значение a_j характеризует объемную удельную производительность и $g_j = m_j$, если массовую.

3. Если аппараты стадии j заполнены катализатором или насадкой, то площадь поперечного сечения аппарата

$$F_j = \frac{v_j}{w_j \cdot b_j \cdot n_j},$$

рабочий объем

$$V_j = \frac{S_j}{\sigma_j \cdot n_j},$$

а длина рабочей зоны

$$L_j = \frac{V_j}{F_j} = \frac{S_j \cdot w_j \cdot b_j}{v_j \cdot \sigma_j}.$$

Здесь S_j – площадь поверхности насадки или катализатора (м^2), σ_j – удельная поверхность насадки или катализатора ($\text{м}^2/\text{м}^3$), b_j – отношение свободного сечения насадки или катализатора к сечению пустого аппарата.

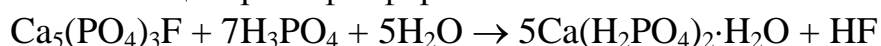
Из приведенных формул видно, что при расчете оборудования стадии ТС необходимо либо задать число параллельно работающих аппаратов и определить их основные размеры, либо задать размер аппарата (стандартного), и найти необходимое количество таких аппаратов. Заметим, что обычно на всех стадиях ТС устанавливается одинаковое количество основных аппаратов (говорят, что ТС работает "в одну нитку", "в две нитки" и т.д.). В этом случае различные аппараты одной стадии работают независимо друг от друга и связаны только с аппаратами соседних стадий. В принципе возможна и установка на различных стадиях ТС неодинакового числа параллельно работающих основных аппаратов, но это приводит к необходимости разделять стадии буферными емкостями. В такую емкость собирается масса, обработанная всеми аппаратами предыдущей стадии, а из нее масса подается в аппараты следующей стадии.

В состав аппаратурного оформления (АО) некоторых стадий ТС непрерывного действия могут входить машины (питатели, дозаторы, измельчители, классификаторы, насосы), к числу основных размеров которых относятся габариты рабочих камер и рабочих органов. Необходимое число машин и их основные размеры определяются в соответствии с известными методиками по заданным материальным индексам стадий и физико-механическим характеристикам обрабатываемой массы.

Пример. Рассчитать основное оборудование технологической системы, выпускающей двойной суперфосфат поточным методом, производительностью 100000 т/год (приблизительно 10000 кг/ч). Упрощенная схема ТС представлена на рисунке 2.1.

Сырьем для производства двойного суперфосфата поточным методом является фосфоритный концентрат в виде муки и фосфорная кислота, содержащая 29÷34% P_2O_5 . Для нейтрализации свободной кислотности готового продукта используется мел.

Основная химическая реакция получения двойного суперфосфата разложением фосфоритного концентрата фосфорной кислотой



реализуется в реакторном блоке из двух (или трех) реакторов-смесителей, соединенных последовательно. Каждый реактор имеет четыре механических перемешивающих устройства. Из последнего реактора большая часть пульпы погруж-

ным насосом подается на сушку в распылительную сушилку. Высушенный порошок двойного суперфосфата подается в двухвальный лопастной смеситель-гранулятор. Сюда же из последнего реактора подается небольшое количество пульпы.

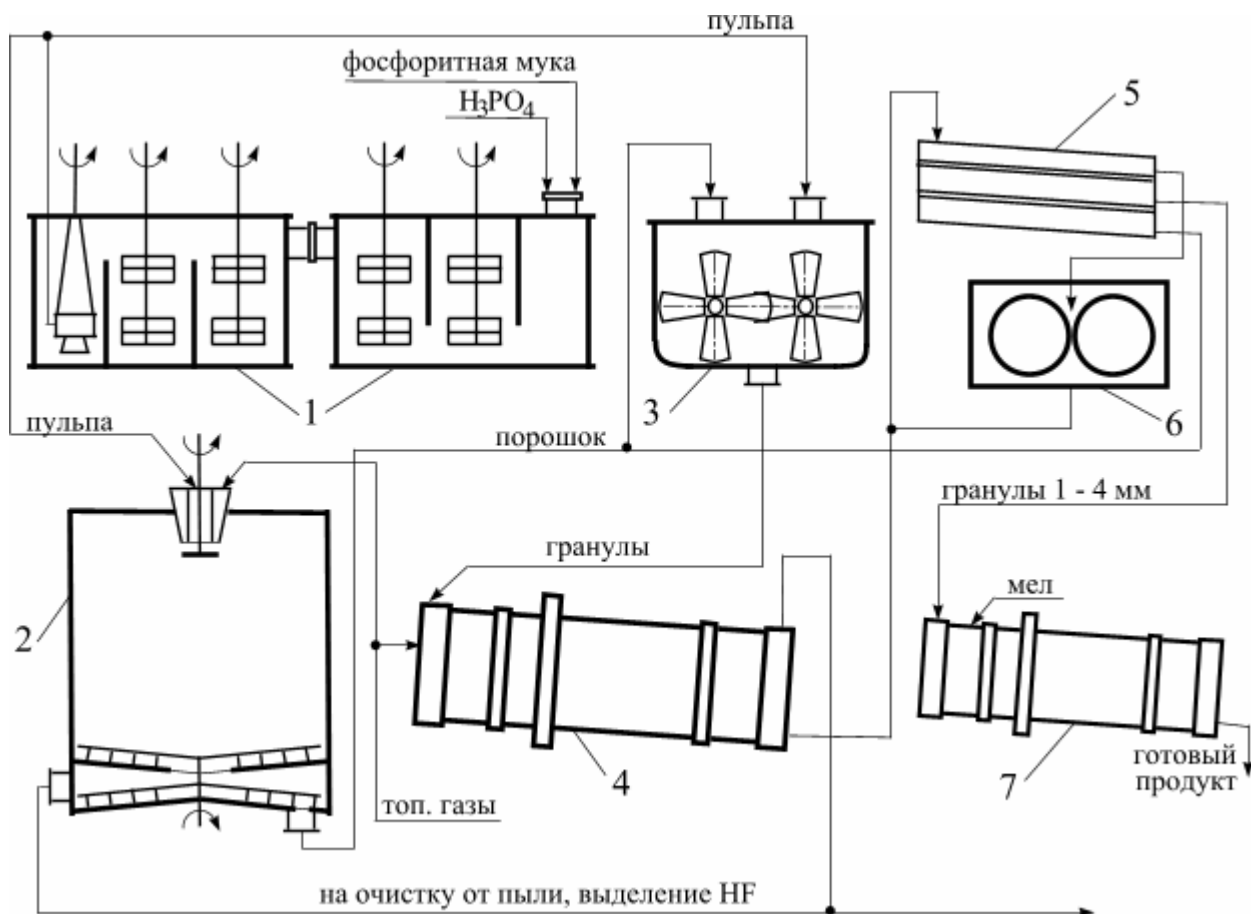


Рисунок 2.1 Схема ТС по производству двойного суперфосфата поточным методом

1 - реакторы-смесители, 2 - сушилка распылительная, 3 - гранулятор двухвальный лопастной, 4 - сушилка барабанная, 5 - грохот двухситовой вибрационный, 6 - дробилка валковая (ДГ), 7 - нейтрализатор барабанный.

Влажные гранулы поступают из гранулятора в сушильный барабан. Высушенный гранулированный двойной суперфосфат рассеивают на грохоте. Крупная фракция (> 5 мм) направляется на измельчение и затем на пересев, мелкая фракция (< 1 мм) снова подается в гранулятор в качестве ретура ("зародышей" для образования гранул). Средняя фракция гранул ($1 \div 5$ мм) направляется в барабан-нейтрализатор (сушильный барабан без насадки), где суперфосфат обрабатывается тонкоизмельченным мелом и в результате реакции



содержание свободной кислоты в нем доводится до 5%. Из нейтрализатора суперфосфат подается на упаковку. Заметим, что стадии 1 и 2 рассматриваемой ТС оснащаются специализированным нестандартным оборудованием (реакторы-смесители и распылительная сушилка), которое монтируется из составных частей непосредственно на месте установки.

Исходные данные для расчета:

- стадия 1: $n_1=1$ (один блок), $m_1=18650$ кг/ч, $\rho_1=1600$ кг/м³, $\tau_1=3$ ч, $\varphi_1=0.6$;

- стадия 2: $n_2=1$, $m_2=7450$ кг/ч (по испаряемой влаге), $a_2=15$ кг/(м³·ч);
- стадия 3: $n_3=1$, $m_3=14000$ кг/ч, $\rho_3=935$ кг/м³, $\tau_3=0.05$ ч, $\varphi_3=0.8$;
- стадия 4: $n_4=1$, $m_4=1500$ кг/ч (по испаряемой влаге), $a_4=30$ кг/(м³·ч);
- стадия 7: $n_7=1$, $m_7=10500$ кг/ч, $\rho_7=950$ кг/м³, $\tau_7=0.25$ ч, $\varphi_7=0.4$.

Расчет грохота и дробилки может быть произведен по известным методикам, см. [4-6], и здесь не рассматривается.

$$\text{Расчет: } V_1 = \frac{m_1 \cdot \tau_1}{\varphi_1 \cdot \rho_1} = \frac{18650 \cdot 3}{0.6 \cdot 1600} = 58.3 \text{ м}^3 \text{ (поскольку вся масса проходит ре-}$$

акторы последовательно, все они должны иметь такой объем),

$$V_2 = \frac{m_2}{a_2} = \frac{7450}{15} = 496.7 \text{ м}^3 \text{ (степень заполнения здесь не учитыва-}$$

ется, т.к. удельная производительность дана по испаряемой влаге),

$$V_3 = \frac{m_3 \cdot \tau_3}{\varphi_3 \cdot \rho_3} = \frac{14000 \cdot 0.05}{0.8 \cdot 935} = 0.94 \text{ м}^3,$$

$$V_4 = \frac{m_4}{a_4} = \frac{1500}{30} = 50.0 \text{ м}^3,$$

$$V_7 = \frac{m_7 \cdot \tau_7}{\varphi_7 \cdot \rho_7} = \frac{10500 \cdot 0.25}{0.4 \cdot 950} = 6.9 \text{ м}^3.$$

При других значениях n_j будут получены другие значения размеров аппаратов. Если число основных аппаратов на различных стадиях будет неодинаковым, придется предусмотреть установку буферных емкостей между стадиями и определить их размеры по вышеприведенным соотношениям (увеличить число стадий системы).

Как правило, стадии проектируемой ТС оснащаются стандартным оборудованием, поэтому полученные в результате расчета значения V_j , F_j и L_j необходимо округлять до ближайших значений, соответствующих основным размерам стандартных аппаратов. Можно решить и обратную задачу: определить по тем же соотношениям требуемое число параллельно работающих аппаратов, основные размеры которых заданы. Необходимость округления найденных значений V_j , F_j , L_j до ближайших стандартных, или значений n_j до ближайших целых может привести к тому, что оборудование некоторых стадий ТС будет использоваться не полностью: реальная производительность, степень заполнения рабочего объема обрабатываемой массой будут меньше максимально допустимых. Например, при округлении числа параллельно работающих реакторов с 1.5 до 2, придется смириться с тем, что они будут заполняться реагентами лишь на 75% от возможного, а приняв к установке сушилку объемом 500 м³ при необходимых 450 – с тем, что ее реальная производительность составит 90% от возможной.

2.2 Постановка задачи расчета оборудования проектируемой ТС

Поскольку существует множество различных вариантов аппаратного оформления проектируемых технологических систем, встает вопрос об их оценке и выборе наилучшего, т.е. о критерии оптимальности АО ТС. Для оценки эффективности вариантов АО могут быть использованы экономические, технологиче-

ские показатели, а также такие характеристики ТС, как чувствительность, управляемость и надежность.

Один из наиболее популярных критериев экономической эффективности АО ТС – это приведенные затраты на выпуск продукции (затраты за определенный период, чаще всего за год): амортизация оборудования и производственного помещения, затраты на производство и приобретение всех видов энергии (электричество, тепло, холод), на сырье и материалы, на хранение и отгрузку готовой продукции, на обслуживание и ремонт оборудования (зарплата персонала) и т.д. К числу технологических показателей эффективности АО стадий ТС можно отнести выход целевых продуктов, термодинамический к.п.д. ее аппаратов, коэффициенты скорости реализуемого процесса (теплопередачи, массопередачи, химической реакции).

Чувствительность ТС – это оценка степени изменения характеристик ее функционирования под влиянием малых изменений режимных и конструктивных параметров, а также внешних факторов. При проектировании стремятся выбирать оборудование, малочувствительное к изменению собственных параметров и внешних воздействий.

Управляемость ТС – это оценка ее способности обеспечивать заданную производительность и требуемое качество продукции в реальных условиях эксплуатации при нестабильности и ограниченности необходимых ресурсов.

Надежность ТС – это оценка ее возможности сохранять работоспособность в течение определенного периода времени, приспосабливаться к обнаружению и устранению причин, вызывающих отказы. Существует методика количественной оценки чувствительности, управляемости и надежности проектируемой ТС.

При расчете оборудования ТС на этапе разработки технического проекта или проектной записки возможности использования упомянутых показателей эффективности ее АО весьма ограничены. Методика расчета не дает возможности применить технологические показатели, характеристики чувствительности и управляемости, т.к. материальные индексы стадий и нормы режима функционирования их оборудования считаются постоянными. Из экономических показателей можно использовать только затраты на оборудование, если известны зависимости стоимости аппаратов различных типов от их основных размеров.

Надежность АО ТС в данном случае можно оценивать только в том смысле, что при работе системы "в одну нитку" выход из строя основного аппарата любой из ее стадий потребует остановки всех остальных и прекращения выпуска продукции, а при установке на стадии нескольких основных аппаратов, работающих параллельно, ТС может продолжать работать с меньшей производительностью. Учесть это обстоятельство можно путем введения в критерий эффективности АО ТС штрафа за установку на ее стадии единственного основного аппарата.

При использовании для оснащения стадий ТС стандартного оборудования для оценки эффективности ее АО можно также применить количественную оценку степени использования выбранных аппаратов, например разность между числом основных аппаратов, установленных на стадии, и реально необходимым для обеспечения требуемой производительности.

На основании вышесказанного в качестве критерия оптимальности решения задачи расчета оборудования ТС непрерывного действия на этапе разработки технического проекта производства предлагается использовать выражение

$$Z = \sum_{j=1}^J \alpha_j \cdot Y_j^{\beta_j} \cdot [n_j + (n_j - n_{*j}) + \gamma_j], \quad (2.1)$$

где Y_j – основной размер аппарата стадии j (V_j , F_j или L_j); α_j , β_j – коэффициенты, учитывающие зависимость стоимости аппаратов стадии j от их материала и основного размера; n_{*j} – необходимое (часто дробное) число основных аппаратов на стадии j ; $\gamma_j = 1$, если $n_j = 1$ и $\gamma_j = 0$ в противном случае. Следовательно, задачу расчета основного оборудования ТС непрерывного действия можно сформулировать следующим образом: найти такие значения J , Y_j , n_j , при которых критерий (2.1) достигает минимума и выполняются условия:

$$\frac{v_j \cdot \tau_j}{\varphi_j^* \cdot n_j} \leq V_j \leq \frac{v_j \cdot \tau_j}{\varphi_{*j} \cdot n_j}, \quad n_{*j} = \frac{v_j \cdot \tau_j}{\varphi_j^* \cdot V_j}, \quad j \in J_\tau, \quad (2.2)$$

$$F_j \geq \frac{v_j}{w_j \cdot n_j}, \quad n_{*j} = \frac{v_j}{w_j \cdot F_j}, \quad j \in J_w, \quad (2.3)$$

$$\frac{g_j}{a_j \cdot n_j \cdot \varphi_j^*} \leq V_j \leq \frac{g_j}{a_j \cdot n_j \cdot \varphi_{*j}}, \quad F_j \geq \frac{g_j}{a_j \cdot n_j}, \quad j \in J_a \quad (2.4)$$

$$n_{*j} = \max \left\{ \frac{g_j}{a_j \cdot V_j \cdot \varphi_j^*}, \frac{g_j}{a_j \cdot F_j} \right\}, \quad j \in J_a \quad (2.5)$$

$$F_j \geq \frac{v_j}{w_j \cdot b_j \cdot n_j}, \quad V_j \geq \frac{S_j}{\sigma_j \cdot n_j}, \quad j \in J_\sigma \quad (2.6)$$

$$n_{*j} = \max \left\{ \frac{v_j}{w_j \cdot b_j \cdot F_j}, \frac{S_j}{\sigma_j \cdot V_j} \right\}, \quad j \in J_\sigma \quad (2.7)$$

$$Y_j \in YS_j, \quad j=1, \dots, J \quad (2.8)$$

$$n_j \in \{1, 2, \dots\}, \quad j=1, \dots, J \quad (2.9)$$

Здесь J_τ – множество номеров стадий ТС, для которых задано время пребывания массы в основном аппарате;

J_w – множество номеров стадий, для которых заданы скорости движения обрабатываемой массы через аппарат;

J_a – множество номеров стадий, для которых заданы удельные производительности аппаратов по одному из обрабатываемых веществ;

$J_\sigma \subset J_w$ – множество номеров стадий, где основными являются аппараты со слоем катализатора или с насадкой;

YS_j – множество стандартных размеров аппаратов, пригодных для установки на стадии j ТС.

Замечания: 1. В случае задания для стадии $j \in J_\tau \cup J_w$ массового материального индекса вместо значения v_j используется отношение m_j/ρ_j .

2. В формулах (2.4), (2.5) g_j соответствует m_j , если a_j – массовая производительность и v_j , если объемная.

3. Если в результате решения задачи число основных аппаратов на соседних стадиях ТС окажется не одинаковым, необходимо ввести между ними стадию, оснащенную буферными емкостями, и определить их число и объем согласно (2.2) или (2.4), (2.5).

4. Основные размеры и необходимое число машин, устанавливаемых на стадиях ТС, определяются по известным методикам.

5. Для определения основных размеров и числа вспомогательных аппаратов стадий ТС (приемные и напорные баки, бункеры) используются соотношения (2.2) – (2.9).

Задача (2.1) - (2.9) относится к классу задач целочисленно-нелинейного программирования. Для ее решения можно предложить алгоритм, основанный на стратегии локальной оптимизации [7-9]:

1) формирование базового варианта АО ТС, соответствующего $n_j = 1$, $j = 1, \dots, J$, и его оценку по критерию (2.1);

2) последовательное увеличение значений n_j на единицу для всех возможных комбинаций номеров стадий ТС (по одной, попарно, тройками и т.д.), формирование соответствующих этим комбинациям вариантов АО, и выбор наиболее предпочтительного из них по критерию (2.1);

3) если выбранному варианту АО ТС соответствует меньшее значение критерия, чем базовому, то он становится базовым и т.д., в противном случае процесс прекращается и оптимальным вариантом считается базовый.

2.3 Расчет оборудования ТС перепрофилируемого производства

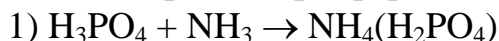
ТС непрерывного действия, как правило, проектируются под конкретный продукт. Возможности их перепрофилирования на выпуск другого продукта ограничены применением специализированного оборудования, которое проектируется и изготавливается для реализации конкретного процесса, при строго определенных характеристиках сырья и продукта, условиях реализации (температура, давление, скорость течения среды и т.п.). Однако в последние годы, когда новые производства практически не проектируются и не строятся, перед проектно-конструкторскими отделами предприятий ставятся такие задачи. Одним из главных факторов, принимаемых во внимание при принятии решения о перепрофилировании действующей ТС, является сходство технологии выпуска прежней и новой продукции.

Расчет основной аппаратуры стадий перепрофилируемой ТС ведется с использованием тех же соотношений, что и проектируемой. Отличие состоит в том, что в число исходных данных дополнительно включаются размеры и число аппаратов стадий ТС, а целью расчета является ответ на вопрос: способна ли ТС обеспечить требуемую производительность по новому продукту?

Расчет можно произвести двумя способами. Первый предусматривает определение по соотношениям (2.2) – (2.7) при фиксированных значениях Y_j , n_j , $j = 1, \dots, J$ по материальным индексам стадий, пересчитанным на 1т нового продукта, максимально возможной производительности оборудования каждой стадии и выбор из них наименьшей. Если найденное значение производительности ТС по новому продукту окажется меньше запланированного, необходимо либо скорректировать план, либо изменить АО лимитирующих ее стадий. Изменение АО может потребоваться и в случае, когда при найденной производительности ТС оборудование некоторых стадий окажется неработоспособным.

Пример. Определить максимально возможную производительность ТС, перепрофилируемой с выпуска простого суперфосфата на выпуск аммофоса. Технологии выработки этих удобрений сходны. Схема ТС представлена на рисунке 2.2.

Реакции получения аммофоса из фосфорной кислоты и аммиака:



реализуются в реакторном блоке, состоящем из двух баков-смесителей, и сатураторе, в который через кольцевой барботер подается газообразный аммиак. Около двух третей пульпы аммофоса из второго бака подается в выпарной аппарат, а оставшаяся возвращается на аммонизацию. Упаренная пульпа подается в барабанный аппарат, выполняющий роль гранулятора и сушилки. Полученные гранулы рассеиваются на двухситовом грохоте: крупная фракция подается на измельчение, мелкая – обратно в гранулятор в качестве ретура, средняя фракция (размер зерен $1 \div 3$ мм) является готовым продуктом.

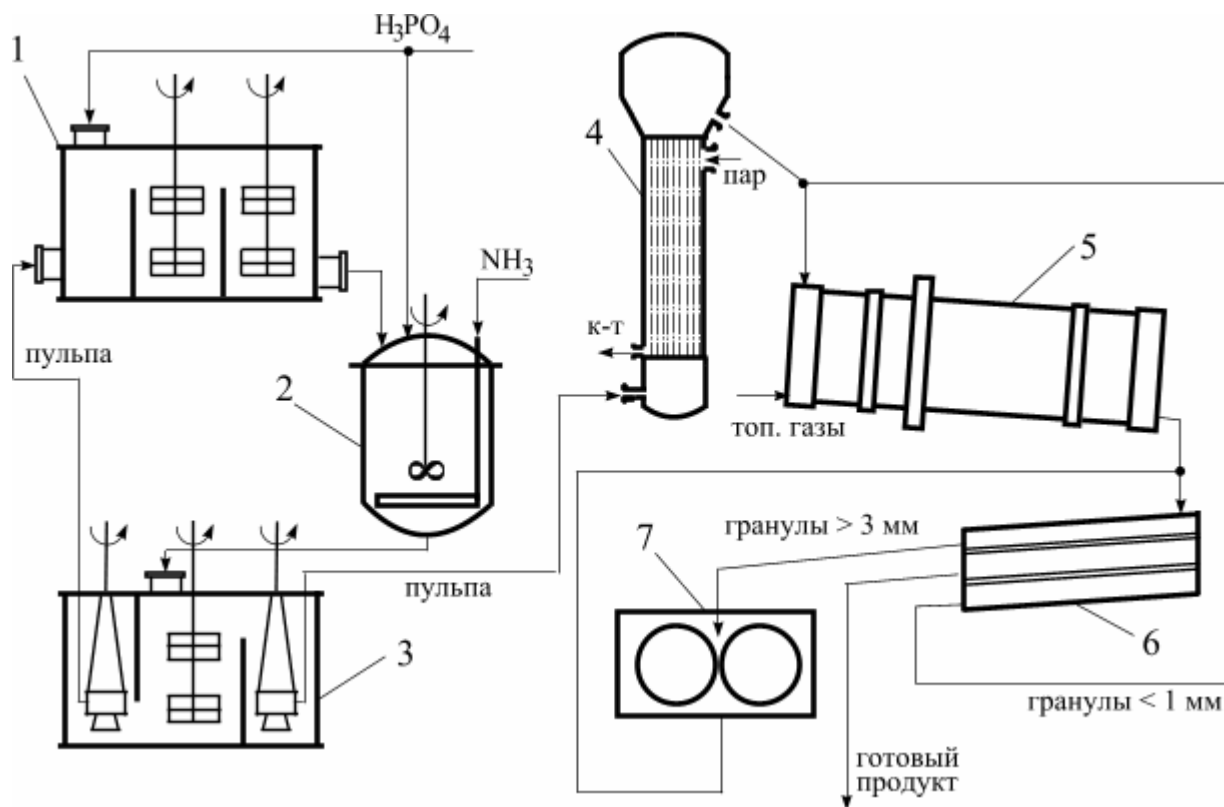


Рис. 2.2 Схема ТС, перепрофилируемой с выпуска простого суперфосфата на выпуск аммофоса

1 – бак слабоаммонизированной пульпы, 2 – сатуратор, 3 – бак неупаренной пульпы, 4 – выпарной аппарат, 5 – барабанный гранулятор-сушилка, 6 – грохот, 7 – дробилка ДГ.

Исходные данные для расчета (материальные индексы пересчитаны на 1т продукта):

- стадия 1: $n_1 = 1$, $m_1 = 7074.6$ кг/ч, $\rho_1 = 1360$ кг/м³, $\tau_1 = 3.5$ ч, $\phi_1 = 0.6$, $V_1 = 50$ м³;
- стадия 2: $n_2 = 1$, $m_2 = 7170.9$ кг/ч, $\rho_2 = 1330$ кг/м³, $\tau_2 = 3$ ч, $\phi_2 = 0.75$, $V_2 = 32$ м³;
- стадия 3: $n_3 = 1$, $m_3 = 7170.9$ кг/ч, $\rho_3 = 1330$ кг/м³, $\tau_3 = 3.5$ ч, $\phi_3 = 0.6$, $V_3 = 50$ м³;
- стадия 4: $n_4 = 1$, $m_4 = 851.6$ кг/ч (по испаряемой влаге), $a_4 = 145$ кг/(м³·ч), $V_4 = 9$ м³;
- стадия 5: $n_5 = 1$, $m_5 = 1923.1$ кг/ч (по сухому), $a_5 = 67.8$ кг/(м³·ч), $\phi_5 = 0.25$, $V_5 = 177$ м³.

Грохот и дробилку рассчитывать не будем.

$$\begin{aligned}
 \text{Расчет: } \frac{V_1 \cdot \varphi_1 \cdot \rho_1}{m_1 \cdot \tau_1} &= \frac{50 \cdot 0.6 \cdot 1360}{7074.6 \cdot 3.5} = 1.65 \text{ т/ч}, \\
 \frac{V_2 \cdot \varphi_2 \cdot \rho_2}{m_2 \cdot \tau_2} &= \frac{32 \cdot 0.75 \cdot 1330}{7170.9 \cdot 3} = 1.483 \text{ т/ч}, \\
 \frac{V_3 \cdot \varphi_3 \cdot \rho_3}{m_3 \cdot \tau_3} &= \frac{50 \cdot 0.6 \cdot 1330}{7170.9 \cdot 3.5} = 1.59 \text{ т/ч}, \\
 \frac{V_4 \cdot a_4}{m_4} &= \frac{9 \cdot 145}{851.6} = 1.53 \text{ т/ч}, \\
 \frac{V_5 \cdot \varphi_5 \cdot a_5}{m_4} &= \frac{177 \cdot 0.25 \cdot 67.8}{1923.1} = 1.56 \text{ т/ч}.
 \end{aligned}$$

Как видно, максимальная производительность ТС по аммофосу может составить 1483 кг/ч, т.е. около 12000 т/год и лимитирует ее рабочий объем сатуратора. При такой производительности системы аппараты остальных ее стадий будут работоспособны.

Второй способ сводится к определению по соотношениям (2.2) – (2.7) при фиксированных значениях n_j , $j = 1, \dots, J$ граничных значений размеров основных аппаратов стадий ТС и выбору среди оборудования перепрофилируемого производства (не обязательно рассматриваемой ТС) подходящих аппаратов. Предполагается, что оборудование других ТС может быть включено в состав АО рассматриваемой системы путем его демонтажа и монтажа на новом месте или путем его обвязки дополнительными трубопроводами.

Более общим и перспективным является второй способ, который предусматривает возможность формирования АО стадий перепрофилируемой ТС из парка оборудования действующего производства в целом. В этом случае задача расчета основного оборудования аналогична задаче (2.1) – (2.9), в постановку которой необходимо внести следующие изменения:

- в первой составляющей критерия (2.1) учитывать только аппараты, привлекаемые из других ТС, т.е.

$$Z = \sum_{j=1}^J \alpha_j \cdot Y_j^{\beta_j} \cdot \left[(n_j - \underline{n}_j) + (n_j - n_{*j}) + \gamma_j \right],$$

где \underline{n}_j – число основных аппаратов на стадии j до перепрофилирования;

- ввести дополнительное ограничение

$$n_j \leq n_{*j}, \quad j = 1, \dots, J, \tag{2.10}$$

где n_{*j} , число имеющихся аппаратов требуемого типа, которые могут быть использованы на стадии j перепрофилируемой ТС;

- символом YS_j обозначить множество основных размеров имеющихся аппаратов требуемого типа, которые могут быть использованы на стадии j .

Другими словами, при перепрофилировании ТС действующего производства решается точно такая же задача, что и при проектировании нового, с учетом ограничений на использование для оснащения стадий ТС только имеющегося оборудования. Такая постановка задачи учитывает и возможность отсутствия среди имеющегося оборудования аппаратов, подходящих по типу для оснащения некоторых стадий выпуска нового продукта. В ходе решения задачи эти стадий не

рассматриваются, а по окончании решения для них рассчитываются граничные значения основных размеров аппаратов при различных значениях n_j . В результате становится известно, сколько и каких аппаратов надо приобретать, изготавливать своими силами или передавать из других производств для оснащения этих стадий. Так же решается вопрос о рабочих объемах и необходимом количестве буферных емкостей, вводимых в ТС между стадиями, число основных аппаратов которых неодинаково.

3 ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТС МНОГОАССОРТИМЕНТНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Для ТС периодического действия и комбинированных характерен выпуск продукции отдельными партиями, последовательно проходящими все стадии обработки. В отличие от ТС непрерывного действия, оборудование любой стадии которых функционирует постоянно и реализует единственную операцию, разные аппаратурные стадии систем периодического действия и комбинированных в каждый момент времени могут быть заняты выполнением различных операций или простаивать в ожидании подачи следующей партии продукта. Такие ТС более характерны для многоассортиментных химических производств (МХП), примерами которых могут служить производства синтетических красителей и полупродуктов, добавок к полимерным материалам, кинофотоматериалов, химических реактивов, фармацевтических препаратов. Технологические системы МХП обычно являются многопродуктовыми, т.е. ориентированы на выпуск нескольких марок продукции в небольших объемах (до 1000 т/год). Расчет оборудования в данном случае включает определение характеристик режима работы системы в целом, указателей способа обработки партий продуктов основными аппаратами ее стадий, а также способа взаимодействия аппаратов различных стадий, т.е. особенности функционирования ТС МХП оказывают существенное влияние на выбор АО их стадий.

Большинство стадий синтеза продукции МХП включают сложные, недостаточно изученные физико-химические превращения и реализуются в периодическом режиме. Однако ТС МХП редко бывают чисто периодическими, некоторые аппаратурные стадии (обычно не связанные с химическими превращениями) могут оснащаться основными аппаратами непрерывного действия, работающими в полунепрерывном режиме, т.е. с остановками.

Как правило, ТС МХП оснащаются только стандартной аппаратурой. Основными аппаратами большинства стадий (химические реакции, растворение, суспензирование и т.д.) являются вертикальные емкости с механическими перемешивающими устройствами. Среди других отметим стадии фильтрации и сушки, которые могут оснащаться основными аппаратами непрерывного действия.

3.1 Характеристики режима функционирования ТС МХП

К числу характеристик режима работы ТС в целом относятся:

- длительность цикла обработки партий каждого ее продукта – минимально возможный промежуток времени между выпуском двух партий, обрабатываемых одна за другой ($T_{ц}$);

- размер партии каждого продукта – масса партии, прошедшей все стадии обработки (w).

Эти характеристики связаны между собой соотношением

$$w = \frac{Q \cdot T_{ц}}{T}, \quad (3.1)$$

где Q – объем выпуска продукта (т), T – срок выпуска продукта (ч). Значения $T_{ц}$ и w во многом определяют состав аппаратного оформления стадий ТС МХП и показатели эффективности его функционирования.

Способ обработки партий каждого продукта на стадии j ТС будем характеризовать коэффициентом изменения размера партии на стадии R_j , а если на стадии установлены несколько основных аппаратов ($n_j > 1$), то и указателем характера обработки партий продукта p_j . Значение $R_j = 1$ показывает, что размер партии не меняется, $R_j = k, k > 1$ означает, что партия разделяется на k равных порций, которые обрабатываются последовательно, $R_j = 1/k, k > 1$ указывает на объединение и совместную обработку k целых партий. Значение $p_j = 0$ говорит о том, что каждый аппарат стадии j принимает и обрабатывает партии продукта целиком и аппараты работают асинхронно, если же $p_j = 1$, то в аппаратах стадии синхронно обрабатываются равные доли партии ($1/n_j$ часть в каждом).

Основные аппараты различных типов, установленные на соседних стадиях ТС (емкостной реактор и фильтр, фильтр и сушилка), могут соединяться непосредственно, либо через дополнительно вводимые в нее стадии, оснащаемые буферными емкостями.

Рассмотрим методику определения длительности цикла обработки партий продуктов ТС МХП. При фиксированных продолжительностях выпуска продуктов значения $T_{ц}$ для них определяются независимо, поэтому дальнейшие рассуждения поведем для системы, выпускающей единственный продукт.

В качестве отправной точки рассмотрим функционирование ТС, каждый из основных аппаратов всех стадий которой принимает и обрабатывает партии материалов целиком, а циклы обработки партий продуктов перекрываются, т.е. обработка следующей партии начинается до завершения обработки предыдущей. Этот случай многократно проанализирован в зарубежных и отечественных публикациях, см. [10-14]: продолжительность промежутка между выпуском двух последовательных партий продукта

$$T_{ц} = \max_{j=1, \dots, J} \{ \tau_j / n_j \}. \quad (3.2)$$

Здесь необходимо остановиться на способах определения длительностей пребывания перерабатываемой массы (значений τ_j) в основных аппаратах типовых стадий ТС МХП.

3.2 Длительности обработки партий продукта на стадиях ТС МХП

Если стадия оснащена емкостными аппаратами периодического действия с перемешивающими устройствами, значения τ_j складываются из продолжительностей элементарных операций обработки партии продукта. Операции подразделяются на основные (гомогенизация, химические реакции, выделение продукта) и вспомогательные (загрузка, выгрузка, нагрев, охлаждение). Длительности основных операций, осуществляемых при постоянном объеме и интенсивном перемешивании, практически не зависят от количества перерабатываемой массы и определяются экспериментально или в результате исследований математических моделей соответствующих процессов. Длительности вспомогательных операций, напротив, определяются количеством массы, размерами и конструкцией аппаратов (размерами поверхности теплообмена и его характером, способом транспорта

веществ и т.п.). Количество обрабатываемой массы и основные размеры аппаратов зависят от размера партии продукта, который не может быть зафиксирован до определения значения $T_{ц}$, см.(3.1), поэтому длительности вспомогательных операций в расчетах оборудования ТС МХП принимаются с запасом и считаются постоянными. Значения длительностей основных и вспомогательных операций приводятся в технологических регламентах процессов синтеза продуктов.

На стадиях фильтрования и сушки длительности обработки партий продукта определяются размером партии, основным размером аппаратов и их удельной производительностью (a_j) по выпускаемому продукту:

$$\tau_j = \frac{g_j \cdot w}{X_j \cdot a_j}. \quad (3.3)$$

Здесь g_j – основной материальный индекс стадии, т.е. результат пересчета материального баланса процесса синтеза продукта на 1 т: m_j (кг/т) или v_j (м³/т),

X_j – основной размер аппарата стадии: рабочий объем V_j или рабочая поверхность F_j (в соответствии с размерностью a_j).

Определение значений τ_j для стадий, оснащаемых рамными и камерными фильтр-прессами в случае, когда целью фильтрования является осадок, а также сушилками периодического действия (например, роторными вакуумными), требует дополнительной информации о процессе. Необходимая рабочая поверхность фильтр-пресса зависит от толщины слоя получаемого осадка δ_j (половины глубины рамы или камеры) и его объема:

$$F_j = \frac{v_j \cdot w}{\delta_j}.$$

Продолжительность фильтрования вычисляется через массу осадка на 1т и удельную производительность фильтра по осадку (кг/м²·час):

$$\tau_j = \frac{m_j \cdot w}{F_j \cdot a_j} = \frac{m_j \cdot \delta_j}{v_j \cdot a_j}, \quad (3.4)$$

т.е. величина τ_j не зависит ни от рабочей поверхности фильтр-пресса, ни от размера партии продукта.

Рабочий объем роторной вакуумной сушилки зависит от объема получаемого сухого продукта и коэффициента ее заполнения, который не может быть больше максимально допустимого:

$$V_j = \frac{v_j \cdot w}{\varphi_j} \geq \frac{v_j \cdot w}{\varphi_j^*}.$$

Продолжительность сушки партии продукта определяется массой испаренной влаги на 1т продукта, рабочей поверхностью сушилки и ее удельной производительностью по влаге (кг/м²·час), следовательно:

$$\tau_j = \frac{m_j \cdot w}{F_j \cdot a_j} = \frac{m_j \cdot V_j \cdot \varphi_j}{v_j \cdot F_j \cdot a_j} \leq \frac{m_j \cdot V_j \cdot \varphi_j^*}{v_j \cdot F_j \cdot a_j}. \quad (3.5)$$

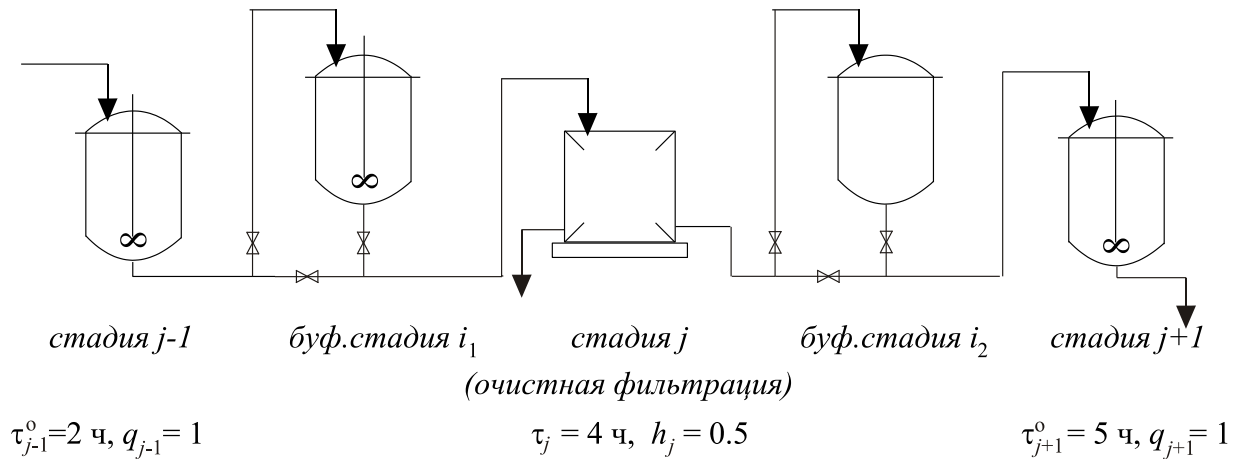
Значения $\tau_j, j \in (1, \dots, J)$ зависят также от способа организации совместной работы оборудования различных аппаратурных стадий ТС.

3.3 Организация совместной работы аппаратов стадий ТС МХП

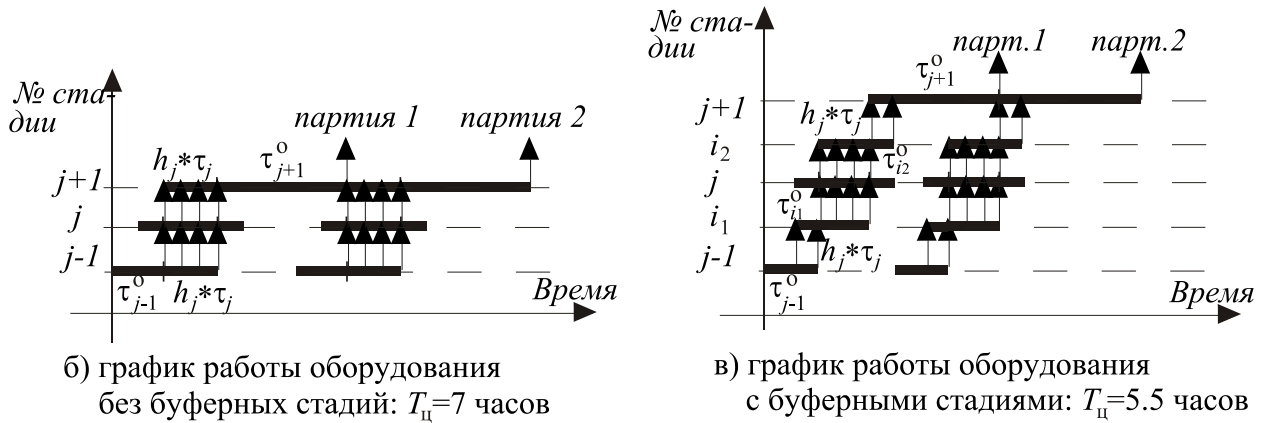
Возможные варианты организации совместной работы фильтров и емкостных аппаратов с перемешивающими устройствами показаны на рисунке 3.1.

Изменения первоначально заданных значений $\tau_{j-1} = \tau_{j-1}^0$ и $\tau_{j+1} = \tau_{j+1}^0$ вызваны следующими обстоятельствами:

1. Аппараты стадии $j-1$ используются для подачи массы на фильтр и, как правило, не освобождаются до окончания операции фильтрования. Исключение составляет случай передачи до начала фильтрования всей суспензии из емкостного аппарата в емкостной фильтр периодического действия - нутч-фильтр, листовый, патронный.



а) фрагмент ТС МХП



б) график работы оборудования без буферных стадий: $T_{ц} = 7$ часов

в) график работы оборудования с буферными стадиями: $T_{ц} = 5.5$ часов

Рисунок 3.1 Варианты организации совместной работы основных аппаратов стадии фильтрования и стадий с емкостным оборудованием

2. Если на стадии j установлены фильтры непрерывного действия, если разгрузка фильтра периодического действия не одновременна (друк-фильтр со сходящей тканью, ФПАКМ), если в аппараты стадии $j+1$ подается фильтрат, то обработка массы в аппаратах стадии $j+1$ не начнется до момента сбора в одном из них целой партии. В этих ситуациях значение τ_{j+1} также будет увеличено на продолжительность операции фильтрования (а иногда и промывки осадка).

Следовательно

$$\tau_{j\pm 1} = \tau_{j\pm 1}^0 + q_{j\pm 1} \cdot \tau_j \cdot h_j. \quad (3.6)$$

Здесь $\tau_{j\pm 1}^0$ – заданные (регламентные) длительности обработки партии продукта на стадиях $j \pm 1$;

h_j – доля основных операций от общего времени занятости аппаратов стадии фильтрования или сушки обработкой одной партии;

$q_{j\pm 1}$ – показатели необходимости коррекции длительностей обработки партии продукта на стадиях $j \pm 1$ с учетом времени совместной работы их основных аппаратов с аппаратами стадии j (фильтрования или сушки): $q_{j\pm 1} = 1$ – коррекция необходима, $q_{j\pm 1} = 0$ – коррекция не нужна (вся партия суспензии выгружается из аппаратов стадии $j - 1$ до начала операции фильтрования или вся партия пасты загружается в аппараты стадии $j + 1$ после окончания ее промывки и осушки).

Для подачи суспензии на фильтр и приема пасты или фильтрата в случае $q_{j\pm 1} = 1$ могут быть использованы дополнительно вводимые в ТС аппаратурные стадии, оснащаемые буферными емкостями. Аппараты буферных стадий заняты обрабатываемой массой в течение времени

$$\tau_i = \tau_i^0 + \tau_j \cdot h_j, \quad (3.7)$$

где τ_i^0 – продолжительность транспорта партии материалов в буферную емкость (обычно принимается равной 0.5÷1.5 часа).

Нередко используются комбинированные варианты, когда, например, перед стадией фильтрования вводится буферная стадия, а для приема массы с фильтров используются основные аппараты следующей стадии. Аналогично может быть организована совместная работа емкостного оборудования с сушильным.

При непосредственном соединении стадий фильтрования и сушки возможны следующие варианты их совместной работы, см. рисунок 3.2:

а) Стадии $j - 1$ и j оснащены аппаратами периодического действия, т.е. перегрузка партии материалов из фильтра в сушилку производится одновременно и продолжительность перегрузки заранее включается в τ_{j-1} и τ_j путем задания соответствующих значений a_{j-1} и a_j .

б) На стадии $j - 1$ аппараты периодического действия, а на стадии j – непрерывного. В этом случае между стадиями $j - 1$ и j обязательно вводится стадия i , оснащаемая буферными емкостями. Длительность пребывания обрабатываемой массы в емкостях определяется по формуле (3.7).

в) Стадия $j - 1$ оснащена аппаратами непрерывного действия, а стадия j – периодического. Если стадии соединены непосредственно, то значение τ_j увеличивается на продолжительность основной операции стадии $j - 1$:

$$\tau_j = \frac{g_j \cdot w}{X_j \cdot a_j} + h_{j-1} \cdot \tau_{j-1}, \quad (3.8)$$

а если между ними вводится буферная стадия i , то значения $\tau_{j\pm 1}$ и τ_i определяются по (3.3) – (3.5) и (3.7) соответственно.

г) Стадии $j - 1$ и j оснащены аппаратами непрерывного действия. В этом случае τ_{j-1} и τ_j остаются неизменными. Если производительности аппаратов этих стадий равны, т.е. $X_{j-1} \cdot a_{j-1} = X_j \cdot a_j$, то аппараты обеих стадий работают как один аппарат (к такому режиму обычно и стремятся технологи). В противном случае между ними обязательно вводится стадия i с емкостными буферами:

$$\tau_i = \tau_i^0 + \max\{\tau_{j-1} \cdot h_{j-1}, \tau_j \cdot h\}. \quad (3.9)$$

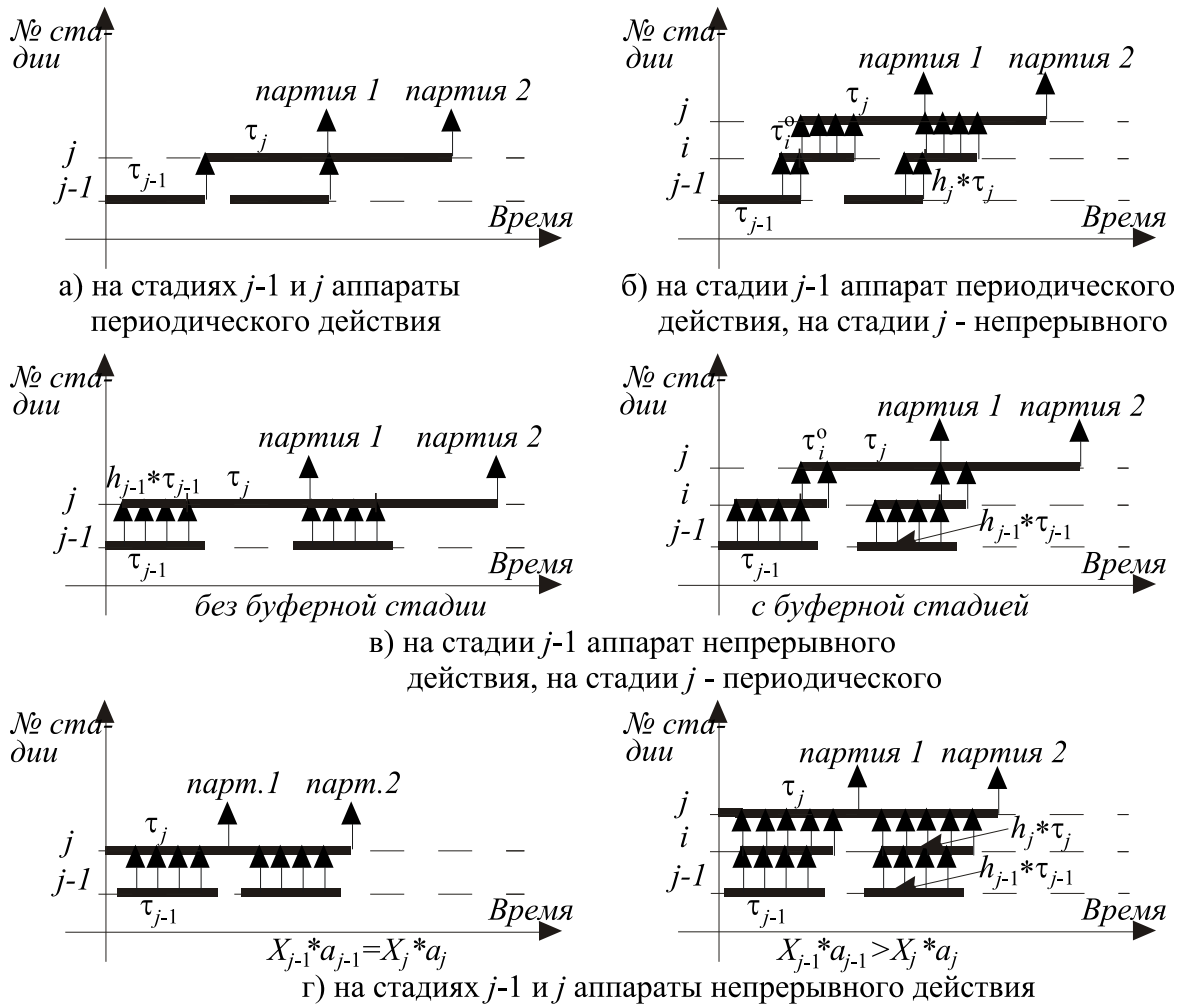


Рисунок 3.2 Графики совместной работы основных аппаратов стадий фильтрации и сушки

Таким образом, расчет значения $T_{ц}$ по формуле (3.2) требует предварительного определения значений τ_j для стадий фильтрации и сушки по формулам (3.3) – (3.5), а также выбора одного из возможных способов совместной работы оборудования различных стадий ТС и коррекции значений τ_j , $j \in (1, \dots, J)$ по формулам (3.7) – (3.9). Присутствие в правой части формулы (3.3) величины w , для определения значения которой по формуле (3.1) требуется значение $T_{ц}$, приводит к необходимости итерационного уточнения значений τ_j на стадиях фильтрации, сушки и связанных с ними стадиях, оснащенных емкостными аппаратами.

Перейдем к рассмотрению влияния на величину $T_{ц}$ изменения размера партии продукта на некоторых стадиях ТС МХП. Вначале проанализируем варианты режима функционирования оборудования стадий, на которых установлены несколько основных аппаратов.

3.4 Обработка партий продукта несколькими аппаратами стадии ТС МХП

При $n_j > 1$ возможны два способа обработки партий продуктов:

1) каждый из аппаратов стадии j принимает партию продукта целиком, причем следующие друг за другом партии обрабатываются в разных аппаратах с запаздыванием, равным $T_{ц}$;

2) партия продукта делится на n_j равных долей, т.е. при $n_j = 2$ - на две, при $n_j = 3$ - на три и т.д., которые синхронно обрабатываются в аппаратах стадии.

На практике чаще применяется первый способ. Второй обычно используют на стадиях, не связанных с реализацией химических процессов (растворение, суспензирование, фильтрация, сушка), т.к. при периодическом режиме обработки долей партии в разных аппаратах чрезвычайно сложно обеспечить равные длительности химических процессов.

Если каждый аппарат обрабатывает партии продукта целиком, то минимальный период между их выходом со стадии $t_j = \tau_j / n_j$, см. рисунок 3.3а. Отсюда следует формула (3.2), предлагаемая для расчета значения $T_{ц}$ в большинстве работ по рассматриваемой проблеме. В случае, когда равные доли партии продукта обрабатываются в разных аппаратах, значение t_j зависит от их типа.

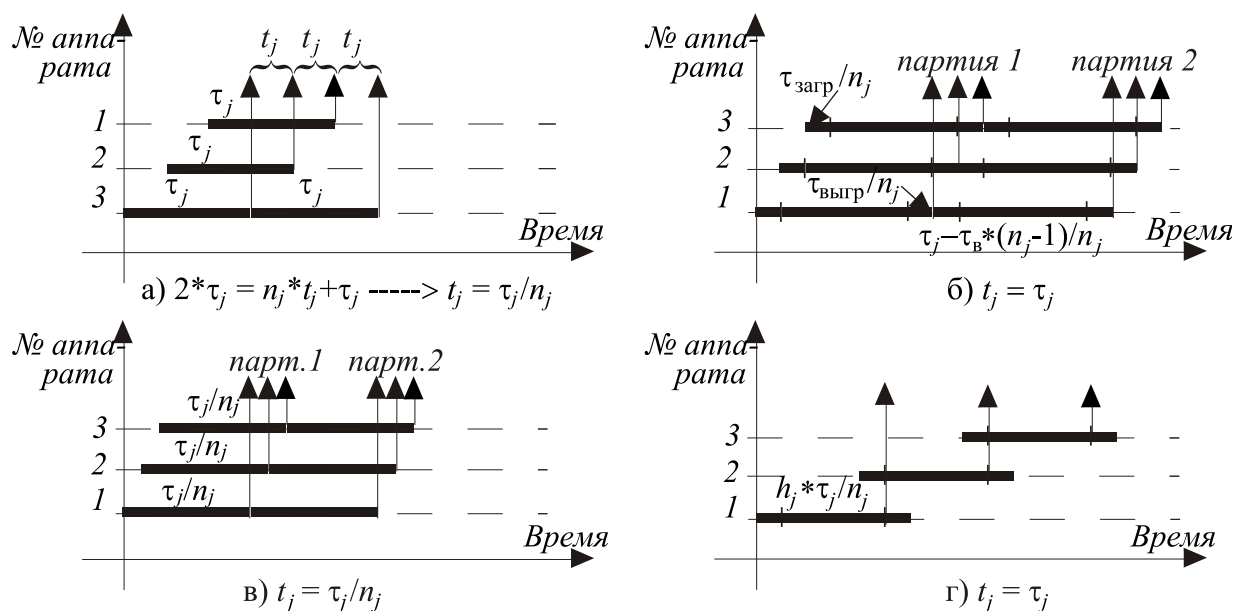


Рисунок 3.3 Графики работы основных аппаратов стадии при $n_j = 3$

На рисунке 3.3б представлен график обработки равных долей партии материалов на стадии, оснащенной емкостными аппаратами с перемешивающими устройствами, при $n_j = 3$ в ситуации, когда к числу вспомогательных операций относятся только загрузка и выгрузка. Длительность основных операций практически не зависит от количества массы, а вспомогательных – прямо пропорциональна ему, следовательно, продолжительность основных операций одинакова во всех аппаратах, а вспомогательных – уменьшается в n_j раз. Из рисунка видно, что в этом случае $t_j = \tau_j - \tau_{в} \cdot (n_j - 1) / n_j$, где $\tau_{в}$ – общая продолжительность вспомогательных операций. Поскольку в течение времени τ_j могут осуществляться и другие

вспомогательные операции, в том числе связанные с изменением количества обрабатываемой массы, предложить обобщенное соотношение для расчета значений t_j затруднительно. В большинстве случаев длительности вспомогательных операций существенно меньше длительностей основных и для рассматриваемой ситуации можно с достаточной для проектных расчетов точностью принять: $t_j = \tau_j$.

На стадиях фильтрования и сушки обработка равных долей партии в разных аппаратах возможна, если каждый аппарат оснащается буферными емкостями для подачи и приема массы или способен принять и передать сразу всю предназначенную долю партии (емкостной фильтр периодического действия, роторная вакуумная сушилка). Поскольку длительность фильтрования и сушки прямо пропорциональна количеству обрабатываемой массы, в проектных расчетах принимается: $t_j = \tau_j/n_j$, см. рисунок 3.3в. Этот вывод не распространяется на стадии, оснащаемые фильтр-прессами, когда целью фильтрования является получение осадка. Обработка долей партии разными аппаратами этих стадий обычно организуется в случаях, когда рабочей поверхности одного фильтра оказывается недостаточно. Аппараты работают последовательно: после заполнения осадком одного суспензия подается в следующий, см. рисунок 3.3г. При таком режиме минимальный период между выходом партий со стадии $t_j = \tau_j$.

Заметим, что если несколько взаимосвязанных стадий ТС оснащены одинаковым числом основных аппаратов, то возможен вариант организации их работы "параллельными нитками", когда каждая доля партии продукта, разделенной для синхронной обработки, передается из аппарата одной стадии непосредственно в аппарат следующей.

3.5 Изменение размера партии продукта на стадиях ТС МХП

Изменение размера партии продукта на некоторых стадиях ТС МХП далеко не всегда связано с ситуацией $n_j > 1$. Нередко в одном аппарате объединяются и совместно обрабатываются несколько партий или партия разделяется на несколько одинаковых порций, которые обрабатываются в одном и том же аппарате последовательно. Такие ситуации характерны для многопродуктовых систем и обычно вызваны стремлением обеспечить выпуск всех продуктов заданного ассортимента с использованием минимального количества основных аппаратов. При решении задач организации выпуска новой продукции на оборудовании действующего МХП необходимость изменения размера партии продукта на стадиях, где размеры имеющихся аппаратов сильно отличаются от требуемых, может возникнуть и в однопродуктовых системах. На стадиях, связанных с химическими превращениями, таких ситуаций стараются избегать, т.к. это отрицательно сказывается на качестве продукции.

На рисунке 3.4 показаны простейшие варианты рассматриваемой ситуации, когда каждая стадия ТС оснащена единственным емкостным аппаратом. Рисунок 3.4б иллюстрирует функционирование оборудования системы при дроблении партии продукта на стадии j на две равные порции и их последовательной обработке, а рисунок 3.4в - при объединении на этой стадии двух партий продукта и их одновременной обработке.

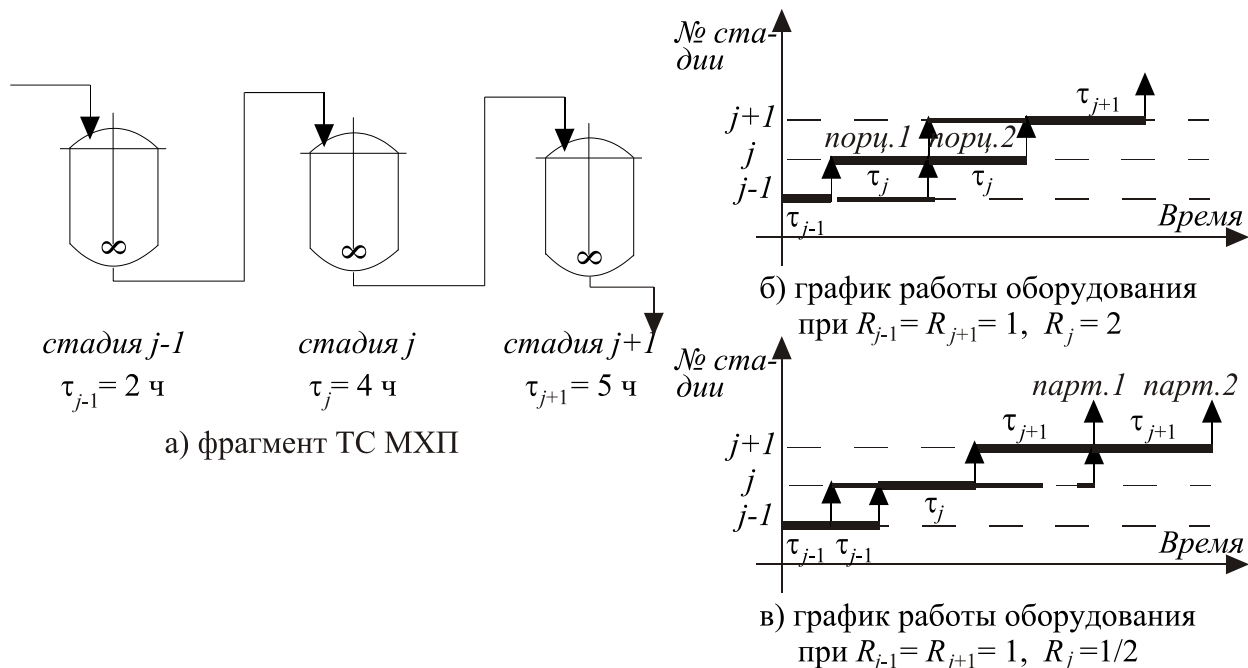


Рисунок 3.4 Функционирование оборудования стадий с емкостными аппаратами при изменении размера обрабатываемой партии

При дроблении партии аппарат предыдущей стадии $j - 1$ освободится только после обработки на стадии j ее первой порции, продолжительность обработки партии на стадии j удвоится, а аппарат стадии $j + 1$ сможет начать обработку партии только после сбора в нем обеих ее порций. Как указывалось выше, для емкостных аппаратов в проектных расчетах продолжительность обработки доли партии или нескольких партий может быть принята равной продолжительности обработки одной партии, поэтому

$$t_{j-1} = \tau_{j-1} + \tau_j, \quad t_j = 2 \cdot \tau_j, \quad t_{j+1} = \tau_j + \tau_{j+1}.$$

Говорят, что аппараты стадий $j - 1$ и $j + 1$ в течение времени τ_j находятся в состоянии "заполненного простоя" – первый недогружен, второй недогружен.

При объединении партий аппарат стадии j не сможет начать обработку объединенной партии до окончания обработки второй партии на стадии $j - 1$ и не освободится до окончания обработки первой партии на стадии $j + 1$. Он находится в состоянии "заполненного простоя" дважды: в течение времени τ_{j-1} недогружен, а в течение времени τ_{j+1} – недогружен. В этом случае

$$t_{j-1} = \tau_{j-1}, \quad t_j = (\tau_{j-1} + \tau_j + \tau_{j+1})/2, \quad t_{j+1} = \tau_{j+1}.$$

Следовательно, в рассмотренной ситуации при $R_j < R_{j\pm 1}$ $t_j = R_j \cdot \left[\tau_j + \left(\frac{1}{R_j} - \frac{1}{R_{j\pm 1}} \right) \cdot t_{j\pm 1} \right]$,

а для стадии, которой соответствует максимальное значение R_j , $t_j = R_j \cdot \tau_j$.

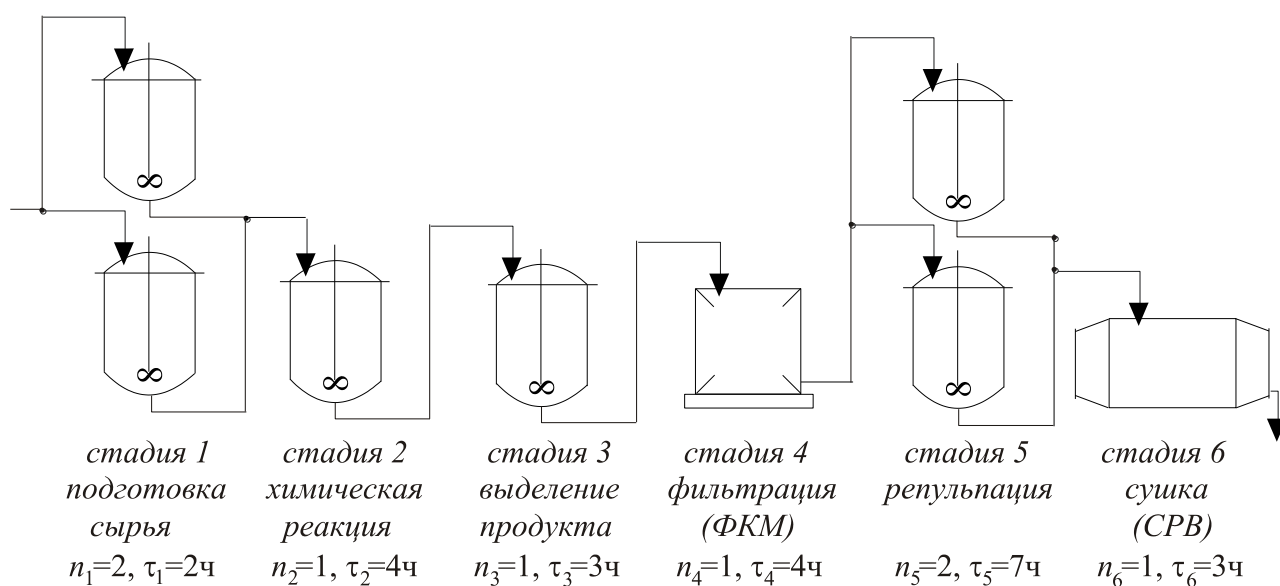
При $R_j \neq 1$ в случае $n_j > 1$ значения t_j для стадий, оснащенных емкостными аппаратами, зависят также от выбранного режима обработки партий или их долей, т.е. от значения p_j : при $p_j = 1$ значения t_j остаются неизменными, а при $p_j = 0$ – уменьшаются в n_j раз.

Для стадий ТС, оснащаемых фильтрами и сушилками, возможны следующие разновидности рассматриваемой ситуации (без учета возможного увеличения значений t_j за счет объединения партий или их долей):

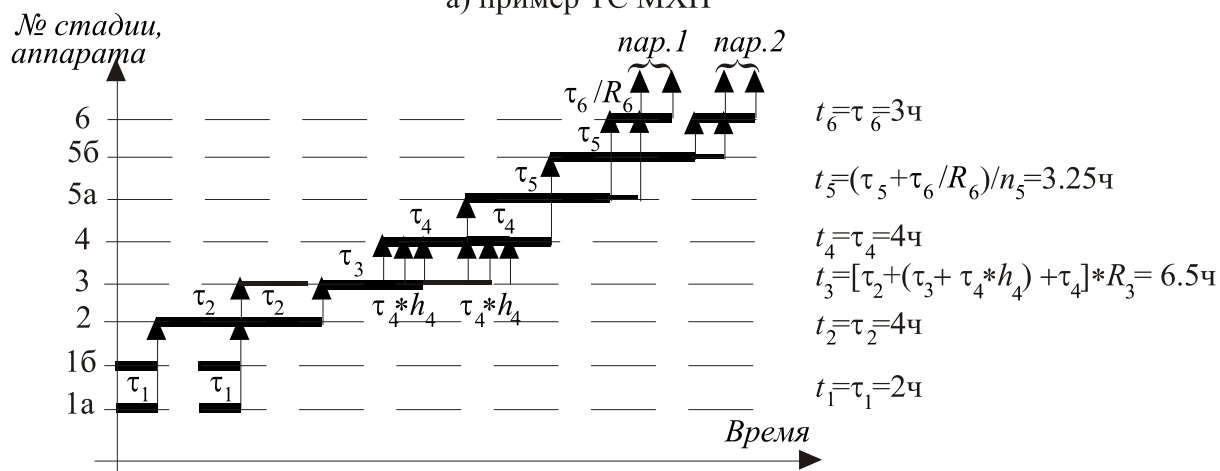
- для большинства типов этих аппаратов продолжительность обработки партии продукта определяется ее размером и на стадиях с такими аппаратами $t_j = \tau_j/R_j/n_j$ (деление на n_j производится как в случае обработки каждым аппаратом $1/R_j$ партий со сдвигом по времени, так и в случае синхронной обработки их равных долей);

- исключением из предыдущего правила являются стадии, оснащаемые рамными и камерными фильтрпрессами в случаях, когда целью фильтрования является получение осадка и продолжительность обработки партии продукта не зависит от ее размера $t_j = \tau_j \cdot R_j/n_j$, если $p_j = 0$, и $t_j = \tau_j \cdot R_j$ при $p_j = 1$;

- аппараты непрерывного действия, как правило, обрабатывают всю массу, содержащуюся в аппаратах предыдущей стадии, и для стадий, оснащаемых такими аппаратами, обычно соблюдается равенство $R_j = R_{j\pm 1}$; в случаях $R_j \neq R_{j\pm 1}$ перед и после стадии j устанавливаются буферные емкости.

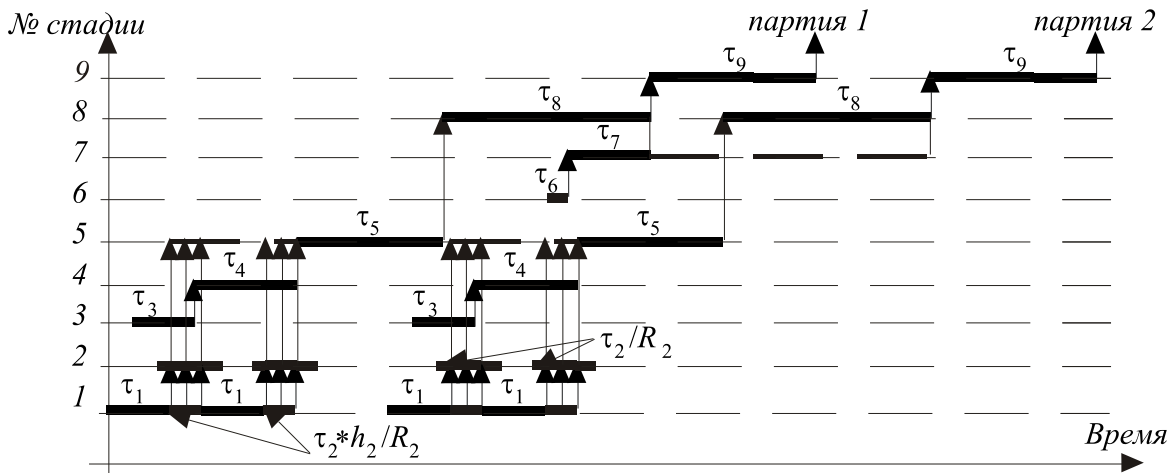
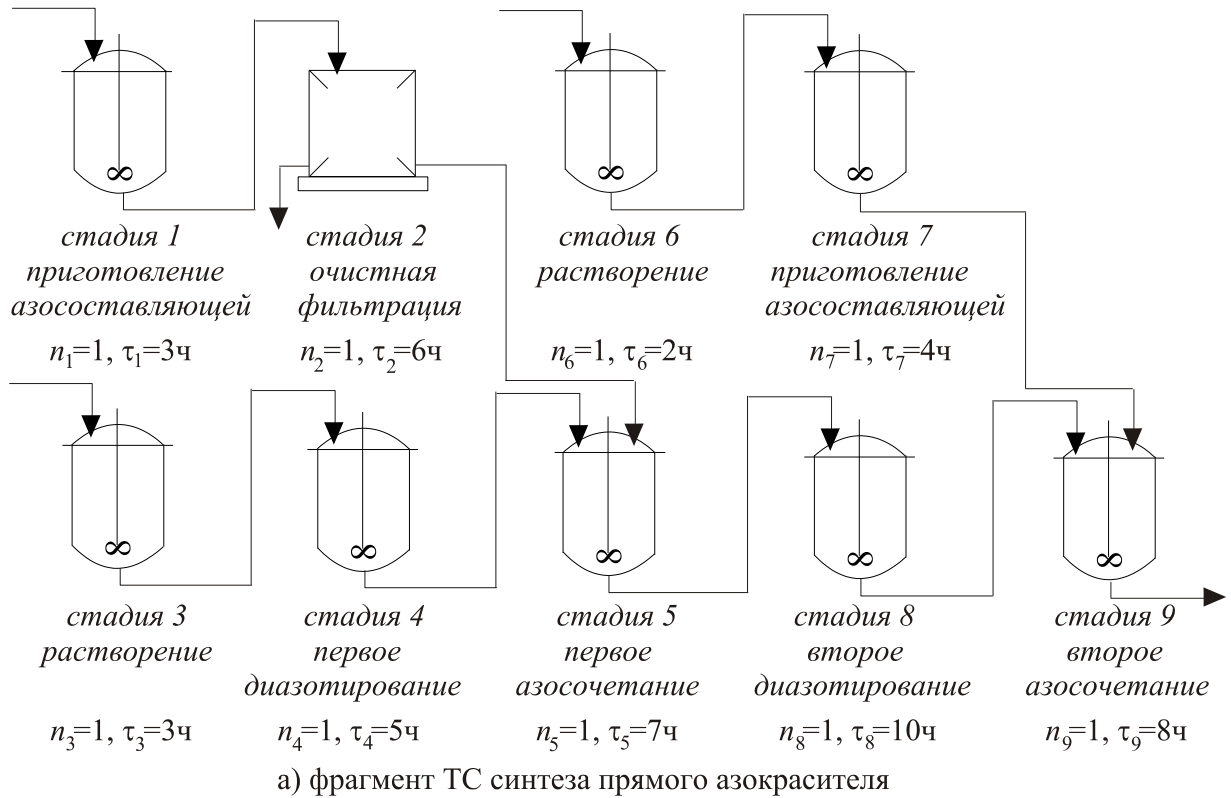


а) пример ТС МХП



б) график работы оборудования ХТС при: $p_1=1, R_1=1; R_2=1; R_3=1/2; h_4=0.5, R_4=1; p_5=0, R_5=1; R_6=2.$

Рисунок 3.5 Пример организации работы оборудования стадий ТС МХП



Последовательность стадий №1: 1,2,5,8,9 - $t_1=R_1*(\tau_1+h_2*\tau_2/R_2)=9$ ч; $t_2=R_2*(\tau_2/R_2)=6$ ч;
 $t_5^1=R_5*[\tau_5+\tau_2*h_2+(1/R_5-1/R_2)*\tau_1]=14.5$ ч; $t_8^1=R_8*\tau_8=10$ ч; $t_9^1=R_9*\tau_9=8$ ч; $T_u^1=t_5^1=14.5$ ч.

Последовательность стадий №2: 3,4,5,8,9 - $t_3=R_3*\tau_3=3$ ч; $t_4=R_4*\tau_4=5$ ч; $t_5^2=R_5*\tau_5=7$ ч;
 $t_8^2=R_8*\tau_8=10$ ч; $t_9^2=R_9*\tau_9=8$ ч; $T_u^2=t_8^2=10$ ч.

Последовательность стадий №3: 6,7,9 - $t_9^3=R_9*\tau_9=8$ ч; $t_6=R_6*\tau_6=1$ ч;
 $t_7=R_7*[\tau_7+(1/R_7-1/R_9)*\tau_9]=6$ ч; $T_u^3=t_9^3=8$ ч.

$T_u=T_u^1=14.5$ ч ----> $t_7=R_7*[\tau_7+(1/R_7-1/R_9)*T_u^1]=9.25$ ч;

б) график работы оборудования ТС при: $R_1=2, h_2=1; R_2=2; R_3=R_4=R_5=1; R_6=R_7=1/2, R_8=R_9=1$.

Рисунок 3.6 Пример организации работы ТС с разветвленной структурой потоков

На рисунке 3.5 представлен один из возможных графиков работы оборудования ТС, на стадиях которой допускается дробление и объединение партий продуктов, синхронная обработка их равных долей. Для определения значения T_u в подобных случаях предлагается следующее соотношение:

$$T_u = \max_{j=1, \dots, J} \{t_j\},$$

$$\text{где } t_j = \frac{R_j}{l_j} \cdot \left(\frac{\tau_j}{r_j} + \max_{k < j, R_k > R_j} \left\{ \left(\frac{1}{R_j} - \frac{1}{R_{j-1}} \right) \cdot t_k \right\} + \max_{k > j, R_k > R_j} \left\{ \left(\frac{1}{R_j} - \frac{1}{R_{j+1}} \right) \cdot t_k \right\} \right), \quad (3.10)$$

причем расчет значений t_j необходимо вести по номерам стадий в порядке убывания значений R_j . Здесь $r_j = 1$, если на стадии j установлен емкостной аппарат или фильтр-пресс, целью работы которого является получение осадка, иначе $r_j = R_j$. Переменная $l_j = n_j$, если $p_j = 0$ или $p_j = 1$ и на стадии j установлены фильтры или сушилки, причем целью работы фильтр-прессов является получение фильтрата, иначе $l_j = 1$.

Соотношение (3.10) записано для однопродуктовой системы в случае, когда каждая ее стадия имеет одну предыдущую и одну последующую стадию (ТС с линейной структурой потоков). При его использовании для систем, некоторые стадии которых имеют более одной предыдущей и (или) последующей стадии, см. рисунок 3.6 (ТС с разветвленной структурой потоков) необходимо выявить все возможные маршруты следования партий материалов по стадиям, сформировать соответствующие последовательности номеров стадий, определить по (3.10) значения $T_{ц}$ для каждой последовательности и выбрать из них наибольшее. При этом может возникнуть необходимость коррекции вычисленных значений t_j для стадий, где осуществляется объединение партий или их долей, (стадия №7 на рисунке 3.6). Если при вычислении значения $T_{ц}$ для какой-либо последовательности ста-

дий $\max_{k < j, R_k > R_j} \left\{ \left(\frac{1}{R_j} - \frac{1}{R_{j-1}} \right) \cdot t_k \right\}$ или $\max_{k > j, R_k > R_j} \left\{ \left(\frac{1}{R_j} - \frac{1}{R_{j+1}} \right) \cdot t_k \right\}$ соответствует стадии,

входящей и в другие последовательности (на рисунке 3.6 стадия №9 входит во все три последовательности), то значение t_k следует сравнить с максимальным из значений $T_{ц}$ для этих последовательностей и использовать в формуле большее из них (на рисунке 3.6 $T_{ц}^1$ вместо t_9).

3.6. Алгоритм определения длительности цикла обработки партий продукта в аппаратах стадий ТС МХП

Использование для расчета значения $T_{ц}$ соотношения (3.10), как и соотношения (3.2), возможно, если известны значения продолжительностей обработки партий продукта на всех стадиях рассматриваемой ТС. Как отмечалось выше, для расчета значений τ_j на стадиях фильтрования и сушки необходимо зафиксировать размер партии продукта w , значение которого зависит от $T_{ц}$, и выбрать один из возможных вариантов совместной работы основных аппаратов различных стадий системы.

Предлагается следующий алгоритм расчета значения $T_{ц}$ для однопродуктовой ТС МХП с применением соотношения (3.10) при фиксированных значениях p_j для стадий с $n_j > 1$ и $R_j, j = 1, \dots, J$:

1) Расчет по формуле (3.4) значений τ_j для стадий, оснащенных фильтрпрессами, целью работы которых является получение осадка. Расчет значений t_j для стадий, где известны значения τ_j . Определение значений $T_{ц}$ по формуле (3.10) для всех возможных маршрутов следования партий материалов по стадиям ТС и выбор наибольшего из них.

2) Расчет значения w по формуле (3.1). Выбор для стадий фильтрования и сушки значений X_j (если они неизвестны), пересчет по формуле (3.3) значений τ_j для этих стадий и проверка ограничения на заполнение объема роторных вакуумных сушилок по формуле (3.5).

3) Пересчет значений $\tau_j, j \in (1, \dots, J)$ по формулам (3.6) – (3.9) в соответствии с выбранным вариантом совместной работы стадий ТС, оснащенных оборудованием различных типов.

4) Пересчет значений $t_j, j = 1, \dots, J$ и значения $T_{ц}$ по формуле (3.10). Возврат на п.1), если его отклонение от первоначального превышает заданную точность.

Заметим, что выбор того или иного варианта совместной работы основных аппаратов различных стадий ТС часто неочевиден, поэтому предлагается осуществлять этот итерационный процесс в рамках перебора всех возможных вариантов. Окончательный выбор одного из вариантов совместной работы оборудования стадий системы и соответствующего значения $T_{ц}$ осуществляется путем оценки затрат на аппаратурное оформление ТС и эффективности его использования.

Если ТС выпускает несколько продуктов, то необходимо выделить все возможные маршруты следования партий материалов по стадиям системы при синтезе каждого из них, сформировать соответствующие последовательности номеров стадий и в соответствии с предложенным алгоритмом определить значение $T_{ц}$ для каждого продукта

Неоднократные проверки представленного алгоритма на реальных ТС производств химических красителей и полупродуктов подтвердили его пригодность для всевозможных комбинаций факторов, влияющих на величину $T_{ц}$, которые отмечены в этом разделе.

4 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОБОРУДОВАНИЯ ТС МХП

Одной из особенностей многоассортиментных малотоннажных химических производств является быстрая смена ассортимента выпускаемой продукции при минимальных изменениях аппаратурного оформления. Даже в период планового хозяйства задачи перепрофилирования действующих МХП на выпуск новой продукции ставились перед проектными организациями значительно чаще, чем задачи проектирования новых производств. В последние годы выпуск новой продукции производств этого класса, в частности - производств химических красителей и полупродуктов, реализуется только на действующих предприятиях, причем ассортимент их продукции существенно расширяется. Проектно-конструкторские отделы МХП постоянно занимаются вопросами организации выпуска новой продукции на имеющемся оборудовании, в частности, решением задач расчета оборудования ТС. Рассмотрение методики расчета оборудования ТС МХП начнем со случая организации выпуска новой продукции на действующем предприятии.

Заметим, что задачи расчета оборудования при перепрофилировании действующего МХП обычно решаются отдельно для каждого нового продукта, даже в ситуации, когда несколько новых продуктов предполагается выпускать с помощью оборудования одной и той же существующей ТС.

Предлагаемый подход к выявлению возможности и целесообразности выпуска нового продукта на оборудовании действующего многоассортиментного производства, предусматривает последовательное решение следующих задач расчета технологического оборудования:

- определение возможных вариантов аппаратурного оформления стадий синтеза продукта, т.е. размеров и числа основных аппаратов заданных типов, позволяющих выпустить его в заданном объеме за указанный срок (задача 1);
- определение минимального срока выпуска продукта в заданном объеме или максимального объема выпуска продукта за заданный срок при фиксированном аппаратурном оформлении стадий синтеза продукта (задача 2).

В результате решения задачи 1 выявляются возможности реализации стадий выпуска нового продукта с использованием аппаратов рассматриваемого производства, задачи 2 - условия работы и производительность конкретной технологической системы выпуска нового продукта. При постановке и решении обеих задач необходимо учитывать рассмотренные в предыдущем разделе возможности изменения размера партии продукта на отдельных стадиях его выпуска и варианты организации взаимодействия основных аппаратов различных стадий.

4.1 Постановка и решение задачи определения возможных вариантов АО ТС

Постановка задачи 1 предусматривает поиск такого варианта АО ТС выпуска нового продукта, который обеспечивал бы реализацию всех стадий его выпуска и заданные значения Q и T при наиболее эффективном использовании оборудования, минимальных изменениях размера партии продукта на стадиях и, по возможности, не предусматривал бы приобретение дополнительных и реконструкцию имеющихся основных аппаратов. Для фиксированного числа стадий ТС и способа взаимодействия их основных аппаратов (с введением в систему до и после стадий фильтрования и сушки дополнительных стадий, оснащаемых промежуточными емкостями, или с использованием в

качестве емкостных буферов аппаратов соседних с ними стадий) необходимо найти такие значения $V_j, F_j, n_j, p_j, R_j, j = 1, \dots, J$, которые доставляют критерию

$$Z = \sum_{j=1}^J \alpha_j \cdot Y_j^{\beta_j} \cdot \left[n_j + (n_j - \underline{n}_j) + n_{*j} \cdot (t_j \cdot s_j / \tau_j - 1) \right] \quad (4.1)$$

минимум при выполнении соотношений математической модели проектирования аппаратного оформления ТС, которая выпускает один новый продукт. Здесь Y_j – основной рабочий размер аппарата стадии j ТС (объем V_j или поверхность F_j);

α_j, β_j – коэффициенты, учитывающие зависимость стоимости основного аппарата стадии j от его материала и основного размера;

\underline{n}_j – число основных аппаратов на стадии j до перепрофилирования;

n_{*j} – число основных аппаратов, действительно необходимое для обработки партий нового продукта на стадии j ТС;

t_j – минимально возможный период между выходом со стадии j ТС двух последовательно обрабатываемых партий продукта (ч).

$$s_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j \in J_b \cup J_f \text{ и } p_j = 1 \\ n_j, & \text{если } j \in J_s / J_f \text{ или } p_j = 0 \end{cases};$$

J_b – множество номеров стадий, где основными аппаратами являются емкости с перемешивающими устройствами и без них;

J_s – множество номеров стадий, где основными аппаратами являются фильтры и сушилки;

$J_f \in J_s$ – множество номеров стадий, где основными аппаратами являются рамные или камерные фильтр-прессы, цель работы которых – получение осадка.

Математическая модель проектирования АО однопродуктовой комбинированной ТС включает следующие соотношения.

1. Ограничения на значения основных размеров аппаратов стадий ТС:

$$V_j \in [V_{j*}, V_j^*] \cap VS_j, \quad j \in J_b, \quad (4.2)$$

$$X_j \in [X_{j*}, X_j^*] \cap VS_j, \quad j \in J_s. \quad (4.3)$$

Здесь $V_{j*} = u_j \cdot \frac{v_j \cdot w}{\varphi_j^*}, \quad j \in J_b \cup J_d, \quad (4.4)$

$$V_j^* = u_j \cdot \frac{v_j \cdot w}{\varphi_j}, \quad j \in J_b - \quad (4.5)$$

нижняя и верхняя границы области допустимых значений рабочего объема аппарата стадии $j \in J_b \cup J_d$;

$J_d \in J_s$ – множество номеров стадий, где основными аппаратами являются сушилки периодического действия (роторные вакуумные);

u_j – коэффициент изменения размера партии продукта на стадии j ТС;

φ_j^*, φ_j – верхняя и нижняя границы области допустимых значений степени заполнения аппаратов стадии $j \in J_b \cup J_d$;

X_j – основной размер аппарата стадии $j \in J_s$ (V_j , или F_j);

$$X_{j*} = F_{j*} = u_j \cdot \frac{v_j \cdot w}{\delta_j}, \quad j \in J_f, \quad (4.6)$$

$$X_{j*} = \frac{g_j \cdot w}{a_j \cdot \tau_j^*}, \quad j \in J_s / J_f, \quad (4.7)$$

$$X_j^* = \max \{X_j / X_j \in VS_j\}, \quad j \in J_s - \quad (4.8)$$

нижние и верхняя границы области допустимых значений основного размера аппарата стадии $j \in J_s$;

VS_j – множество основных размеров аппаратов действующего производства, пригодных для установки на стадии j ;

τ_j^* – максимально возможная продолжительность обработки партии продукта на стадии $j \in J_s / J_f$, (ч).

2. Соотношения для определения характеристик режима функционирования ТС и оборудования ее стадий:

$$w = \frac{Q \cdot T_{\text{ц}}}{T}, \quad (4.9)$$

$$T_{\text{ц}} = \max_{j=1, \dots, J} \{t_j\}, \quad (4.10)$$

$$t_j = \frac{R_j}{s_j} \cdot \left(\frac{\tau_j}{r_j} + \max_{k < j, R_k > R_j} \left\{ \left(\frac{1}{R_j} - \frac{1}{R_{j-1}} \right) \cdot t_k \right\} + \max_{k > j, R_k > R_j} \left\{ \left(\frac{1}{R_j} - \frac{1}{R_{j+1}} \right) \cdot t_k \right\} \right), \quad (4.11)$$

$$n_{*j} = \frac{t_j}{T_{\text{ц}}} \cdot [p_j + (1 - p_j) \cdot n_j], \quad j = 1, \dots, J, \quad (4.12)$$

$$u_j = \frac{p_j + (1 - p_j) \cdot n_j}{n_j} \cdot \frac{1}{R_j}, \quad j = 1, \dots, J, \quad (4.13)$$

$$\tau_j^* = \min \left\{ T_{\text{ц}}, \min_{k=j-1, j+1} \left\{ \frac{T_{\text{ц}} - q_k \cdot \tau_k^0}{h_j} \cdot [q_k + (1 - q_k) \cdot h_j] \cdot [p_j + (1 - p_j) \cdot n_j] \right\} \right\}, \quad j \in J_s / J_f, \quad (4.14)$$

$$\tau_j = \frac{m_j \cdot \delta_j}{v_j \cdot a_j}, \quad \tau_{j \pm 1} = \tau_{j \pm 1}^0 + q_{j \pm 1} \cdot \tau_j \cdot h_j, \quad j \in J_f. \quad (4.15)$$

Здесь Q - заданный объем выпуска нового продукта (т);

T - срок, отведенный на выпуск нового продукта (ч);

τ_j^0 - заданная (регламентная) длительность обработки партии продукта на стадии $j \in J_b$ (ч);

$$r_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j \in J_b \cup J_f \\ R_j, & \text{если } j \in J_s / J_f \end{cases};$$

h_j - доля основных операций от общего времени занятости аппаратов стадии $j \in J_s$ обработкой одной партии продукта;

$q_{j \pm 1}$ - показатели необходимости коррекции длительностей обработки партии продукта на стадиях $j \pm 1$ с учетом времени совместной работы их основных аппаратов с аппаратами стадии $j \in J_s$;

Замечания к критерию. Критерий (4.1) позволяет приблизительно оценивать приведенные затраты на выпуск нового продукта с использованием оборудования действующего производства.

Произведение $\alpha_j \cdot Y_j^{\beta_j} \cdot n_j$ является оценкой амортизации стоимости основных аппаратов стадии j . Минимальному значению каждого такого произведения соответствует использование для реализации стадии j выработки нового продукта минимального числа основных аппаратов минимально возможных размеров. С одной стороны, при этом уменьшаются затраты на оборудование, т.к. для основных аппаратов любого типа значения $\beta_j < 1$ и при равенстве суммы основных размеров стоимость нескольких аппаратов больше, чем одного. С другой стороны, оборудование стадий ТС используется более эффективно, снижаются удельные энергозатраты на выпуск единицы продукции.

Произведение $\alpha_j \cdot Y_j^{\beta_j} \cdot (n_j - \underline{n}_j)$ представляет собой штраф за привлечение для реализации стадии j выпуска нового продукта дополнительных аппаратов (передаваемых из другого производства или вновь приобретаемых). Сумма этих произведений позволяет оценить затраты на монтаж и необходимую реконструкцию дополнительных аппаратов.

Произведения $\alpha_j \cdot Y_j^{\beta_j} \cdot n_{*j} \cdot (t_j \cdot s_j / \tau_j - 1)$ – это штраф за усложнение обслуживания оборудования стадий при изменении размеров партий продукта на отдельных стадиях. С помощью третьей составляющей учитывается возможность увеличения продолжительностей обработки партий продукта в аппаратах ряда стадий ТС по причине дробления/укрупнения партий от стадии к стадии, а также его отрицательное влияние на качество продукции.

В разделе 3.5, (рис.3.4) показано, что при $R_j > 1$, т.е. при дроблении партии на R_j равных долей, длительность ее обработки может увеличиться в R_j раз. При этом аппараты соседних стадий некоторое время находятся в состоянии "заполненного простоя": аппараты предыдущей стадии недогружены, а аппараты следующей – недогружены. Ситуация "заполненного простоя" возникает также при объединении и совместной обработке на стадии нескольких партий продукта. Значения $(t_j \cdot s_j / \tau_j - 1)$ характеризуют относительное увеличение значений t_j по сравнению с τ_j / s_j при $R_j \neq 1$, $p_j \neq 0$, $j \in (1, \dots, J)$. Значение n_{*j} для большинства стадий является дробным и характеризует долю рабочего времени, в течение которой аппараты стадии заняты обработкой партий продукта. Произведения $n_{*j} \cdot (t_j \cdot s_j / \tau_j - 1)$, $j = 1, \dots, J$, позволяют оценить, насколько увеличивается число основных аппаратов стадии j ТС из-за изменений размера его партии от стадии к стадии системы.

Критерий не учитывает затраты на сырье, т.к. они практически не зависят от аппаратурного оформления стадий выработки продукта.

Замечания к модели. Главным отличием модели (4.2)-(4.15) от предложенных ранее математических моделей проектирования АО ХТС МХП, см. [15-18] является учет возможности изменения размера партии продукта на стадиях системы. Кроме того, необходимо обратить внимание на следующие соотношения:

1) В формуле (4.7) коэффициент u_j отсутствует, т.к. изменение размера партии продукта на стадиях $j \in J_s$ сопровождается прямо пропорциональным изменением длительности ее обработки.

2) Выражение (4.11) последовательно применяется ко всем возможным маршрутам следования партий материалов по стадиям ТС, причем расчет значе-

ний t_j ведется по номерам стадий в порядке убывания значений R_j . Если стадия j входит в несколько маршрутов, то из найденных для нее значений t_j выбирается наибольшее.

3) Соотношение (4.14) учитывает продолжительность совместного функционирования основных аппаратов стадий $j \in J_s/J_f$ и соседних с ними стадий $j \in J_b$ (возможно, оснащенных буферными емкостями). Значение τ_j^* , $j \in J_s/J_f$ не может превысить значение $T_{ц}$.

Адекватность математической модели (4.2) - (4.15) подтверждается более чем двадцатилетним опытом автоматизированного проектирования и перепрофилирования ТС реальных МХП: многократным сравнением результатов проектирования АО ТС с проектными решениями, внедренными в производство.

Переменные V_j , $j \in J_b$; X_j , $j \in J_s$; n_j , p_j , R_j , $j = 1, \dots, J$ изменяются дискретно, следовательно задача 1 является задачей дискретной оптимизации. Предлагаемый алгоритм ее решения основан на схеме локальной оптимизации, т.к. имеется возможность обосновать выбор наиболее приемлемых начальных значений n_j , p_j , R_j , $j = 1, \dots, J$, а соотношения (4.2) - (4.15) позволяют сильно сократить объем перебора допустимых значений V_j , $j \in J_b$; X_j , $j \in J_s$.

Алгоритм решения задачи 1 включает следующие операции:

1. Предварительное определение числа аппаратурных стадий ТС, необходимого для реализации стадий выпуска нового продукта (на основе регламента его синтеза), и выбор способа взаимодействия основных аппаратов различных стадий.

2. Формирование множеств VS_j , $j = 1, \dots, J$ с учетом соответствия требований регламента к оборудованию стадий синтеза продукта и характеристик аппаратов рассматриваемого производства: тип и исполнение аппарата, материал частей, соприкасающихся с обрабатываемой массой, и ее агрессивность, вид мешалки и частота ее вращения, наличие теплообменного устройства и т.д.

3. Задание начальных значений R_j , n_j , p_j , $j = 1, \dots, J$. С точки зрения критерия (4.1) наиболее предпочтительны значения $R_j = 1$, $n_j = 1$ (и, следовательно, $p_j = 0$), $j = 1, \dots, J$, при которых стадии выпуска нового продукта будут реализованы с помощью минимального числа основных аппаратов без изменений размера партии продукта на стадиях ТС.

4. Расчет значений τ_j , $j \in J_f$ и коррекция значений τ_j для связанных с ними стадий $j \in J_b$ по формуле (4.15), определение по выражениям (4.10), (4.11) значения $T_{ц}$ и по формуле (4.9) - значения w .

5. Расчет значений τ_j^* , $j \in J_s/J_f$ по соотношению (4.14). Вычисление граничных значений размеров основных аппаратов стадий ТС по формулам (4.4) - (4.8) и выбор минимальных значений V_j , $j \in J_b$ и X_j , $j \in J_s$, удовлетворяющих условиям (4.2), (4.3).

6. Если для какой-либо стадии выпуска нового продукта при выбранном способе взаимодействия аппаратов различных стадий системы и характере обработки партий материалов на стадиях множество $[V_j^*, V_j] \cap VS_j$ или $[X_j^*, X_j] \cap VS_j$ оказывается пустым, то предпринимаются попытки изменить число аппаратурных стадий системы, условия формирования множеств VS_j , $j=1, \dots, J$ или заданные значения R_j , n_j , p_j , $j = 1, \dots, J$.

Например, если V_j^* , $j \in J_b \cup J_d$, оказывается больше рабочего объема любого из имеющихся аппаратов или значение F_j^* , $j \in J_f$ превосходит рабочую поверхность любого имеющегося фильтр-пресса, можно попытаться уменьшить "выход с операции" w за счет уменьшения значения $T_{ц}$ следующими способами: а) увеличить

число аппаратов на стадии i , для которой выполняется условие $t_i = \max_{j=1, \dots, J} \{t_j\}$, если $p_i = 0$; б) предусмотреть, если $(i-1) \in J_s$ или $(i+1) \in J_s$, подачу и прием массы из аппаратов стадий $i \pm 1$ с использованием буферных емкостей (т.е. ввести в ТС одну или две новые стадии $j \in J_b$). Можно также попробовать уменьшить размер партии продукта на стадии j , т.е. уменьшить значение u_j за счет увеличения R_j или (и) изменения значения $p_j = 0$ на $p_j = 1$ (при $n_j > 1$).

В ситуации, когда вычисленное значение V_j^* , $j \in J_b$ меньше рабочего объема любого имеющегося аппарата, надо, наоборот, попытаться увеличить "выход с операции" за счет увеличения значения $T_{ц}$ или увеличить значение u_j путем уменьшения R_j , а при $n_j > 1$ - изменения значения $p_j = 1$ на $p_j = 0$. Значение w можно увеличить и за счет уменьшения продолжительности T выпуска продукта. Увеличивать значение Q не рекомендуется, т.к. выпуск продукта сверх заказа вряд ли будет оплачен.

Решение об изменении числа аппаратурных стадий ТС, способа взаимодействия их основных аппаратов, условий формирования множеств VS_j , $j = 1, \dots, J$ может быть принято только экспертом (технологом). Перебор вариантов изменения значений R_j , n_j , p_j , $j = 1, \dots, J$, обеспечивающих пригодность хотя бы одного основного аппарата рассматриваемого производства для реализации каждой из стадий выработки нового продукта, и выбор того из них, которому соответствует минимальное значение критерия (4.1), осуществляется автоматически. Предусмотрена и возможность выбора варианта, наиболее приемлемого в конкретной производственной ситуации с точки зрения эксперта.

Опыт показывает, что при учете всех показателей пригодности аппаратов для осуществления стадий выработки нового продукта задача 1 редко решается успешно: для каких-то стадий не удастся подобрать полностью подходящие аппараты. В этой ситуации может быть принято решение о реконструкции имеющихся аппаратов, например, замене перемешивающего устройства или установке дополнительного теплообменника, о передаче подходящих аппаратов из другого производства или о приобретении нового оборудования.

4.2 Постановка и решение задачи определения максимальной производительности фиксированного АО ТС

Если задача 1 решена успешно, т.е., так или иначе, удалось найти основные аппараты, подходящие для реализации всех стадий выпуска нового продукта, то для полученного варианта АО ТС необходимо решить задачу 2. Цель ее решения - определение характеристик режима функционирования ТС, т.е. значений w , $T_{ц}$, τ_j , $j \in J_s$, φ_j , $j \in J_b \cup J_d$, обеспечивающих ее максимальную производительность. Задача 2 может иметь и самостоятельное значение, когда аппаратурное оформление ТС не выбирается в результате решения задачи 1, а задается, например, при проверке возможности выпуска нового продукта с помощью взаимосвязанных аппаратов конкретной существующей ТС.

Постановка задачи 2 предусматривает поиск таких значений w , p_j , R_j , $j = 1, \dots, J$, которые при фиксированном АО стадий системы и способе взаимодействия их основных аппаратов обеспечивают максимальный объем выпуска нового

продукта $Q=T \cdot w / T_{ц}$ за заданный срок или минимальный срок $T = Q \cdot T_{ц} / w$ выпуска продукта в заданном объеме.

Главной проблемой при решении задачи 2 является проверка и обеспечение выполнения условия пригодности фиксированного АО ТС для реализации всех стадий выпуска продукта с точки зрения заполнения емкостных аппаратов и производительности фильтров и сушилок. Математическая формулировка этого условия имеет вид:

$$w^* > w_*, \quad (4.16)$$

$$\text{где } w^* = \min \left\{ \min_{j \in J_b \cup J_d} \left\{ \frac{V_j \cdot \Phi_j^*}{u_j \cdot v_j} \right\}, \min_{j \in J_f} \left\{ \frac{F_j \cdot \delta_j}{u_j \cdot v_j} \right\}, \min_{j \in J_s} \left\{ \frac{X_j \cdot a_j \cdot \tau_j}{g_j} \right\} \right\}, \quad (4.17)$$

$$w_* = \max_{j \in J_b} \left\{ \frac{V_j \cdot \Phi_{*j}}{u_j \cdot v_j} \right\}, \quad (4.18)$$

а для определения значений $\tau_j, j \in J_s$, и коррекции значений длительностей обработки партий материалов на соседних с ними стадиях $j \in J_b$ используется соотношение (4.15) и аналогичное ему соотношение для стадий $j \in J_s / J_f$:

$$\tau_j = \frac{g_j \cdot w}{X_j \cdot a_j}, \quad \tau_{j \pm 1} = \tau_{j \pm 1}^0 + q_{j \pm 1} \cdot \tau_j \cdot h_j, \quad j \in J_s / J_f. \quad (4.19)$$

Кроме того, при решении задачи 2 используются формулы (4.10) - (4.13) и соотношение для расчета значений коэффициентов заполнения емкостных аппаратов и сушилок периодического действия

$$\Phi_j = u_j \cdot \frac{v_j \cdot w}{V_j}, \quad j \in J_b \cup J_d. \quad (4.20)$$

Значения Φ_j , в комплексе с значениями n_{*j} , позволяют судить об эффективности использования оборудования стадий ТС.

Алгоритм решения задачи 2 предусматривает следующие действия:

1. Задание начальных значений $R_j, p_j, j = 1, \dots, J$ (обычно $R_j = 1, p_j = 0$), если они не определены при решении задачи 1.

2. Проверку выполнения условия (4.16) при фиксированных значениях $n_j, V_j, X_j, j = 1, \dots, J$ и способе взаимодействия основных аппаратов различных стадий системы. Проверка включает определение значений $\tau_j, j \in J_f$ по формуле (4.15), вычисление по (4.17), (4.18) значений w^*, w_* с учетом стадий $j \in J_b \cup J_f$, и, при $w^* > w_*$, выбор значения $w = w^*$.

3. Обеспечение выполнения условия (4.16) при $w^* < w_*$, т.е. уменьшение значения w_* или (и) увеличение значения w^* . Уменьшить w_* можно путем увеличения значения u_j на соответствующей стадии $j \in J_b$, т.е. принятия решения, что в аппаратах этой стадии будут объединяться для одновременной обработки несколько партий, или что каждый из аппаратов этой стадии будет принимать и обрабатывать партии материалов целиком (следует уменьшить значение R_j или, при $n_j > 1$ и $p_j = 1$, - изменить значение p_j на 0). Для увеличения w^* можно попытаться увеличить основной размера аппарата соответствующей стадии j до следующего допустимого, а при $j \in J_b \cup J_f \cup J_d$ - уменьшить значение u_j , т.е. принять решение, что в аппаратах этой стадии будут обрабатываться равные доли партии, последовательно или синхронно в разных аппаратах. В последнем случае необходимо увеличить значение R_j , а если $n_j > 1$ и $p_j = 0$ - изменить значение p_j на 1. Предпоч-

тение отдается тому варианту обеспечения выполнения условия (4.16), которому соответствует минимальное значение критерия (4.1).

4. Расчет значений τ_j , $j \in J_s/J_f$ и коррекция значений τ_j , $j = 1, \dots, J$ по соотношениям (4.15), (4.17), определение длительности цикла обработки партии продукта по формулам (4.10), (4.11) и продолжительности выпуска продукта в требуемом объеме или объема его выпуска за указанный срок. Расчет значений φ_j , $j \in J_b \cup J_d$ по соотношению (4.20) и значений n_{*j} , $j = 1, \dots, J$ по формуле (4.12).

При решении задачи 2 без предварительного решения задачи 1 АО некоторых стадий системы может быть не задано (для определения значения w достаточно, чтобы было зафиксировано АО хотя бы одной стадии $j \in J_b \cup J_f$). Тогда задача решается с учетом только тех стадий, где заданы значения V_j , X_j , $j \in (1, \dots, J)$, а для остальных по формулам (4.2) - (4.8) определяются значения граничных размеров основных аппаратов и производится поиск подходящего оборудования среди аппаратов рассматриваемого производства. По окончании решения задачи 2 с неполным комплектом оборудования и определения АО всех стадий выпуска продукта вновь необходимо решить задачу 2 для окончательной проверки условий заполнения аппаратов стадий $j \in J_b \cup J_d$ и определения значений w , τ_j , $j \in J_s$, $T_{ц}$.

4.3 Пример решения задач расчета оборудования ТС при выпуске нового продукта на действующем МХП

Задание. Сформировать структуру и произвести расчет основной аппаратуры ТС для выпуска 1,3 фенилендиамина технического на базе оборудования цеха №33 Тамбовского ОАО "Пигмент". Требуемая производительность ТС – 170 т продукта за 110 сут. при круглосуточной работе. Данные технологического регламента процесса выработки 1,3 фенилендиамина технического (стадии, типы основных аппаратов, материальные индексы, нормы режима) представлены на рисунке 4.1.

По решению технолога перед и после стадии очистного фильтрования в ТС введены дополнительные стадии, оснащаемые буферными емкостями: для подачи суспензии на фильтр – вертикальными с перемешивающими устройствами, для приема фильтрата – горизонтальными без перемешивающих устройств. В результате стадия №3 получает номер 4, стадия №4 – номер 6, стадия №5 – номер 7.

Дополнительные исходные данные:

- стадия №1: основной аппарат - емкостной реактор, стальной, эмалированный, с рамной или якорной мешалкой и рубашкой;
- стадия №2: основной аппарат - емкостной реактор, чугунный, с рамной или якорной мешалкой и рубашкой;
- стадия №3: основной аппарат - вертикальная емкость, стальная, эмалированная, с рамной или якорной мешалкой; $v_3=13.396 \text{ м}^3/\text{т}$, $\tau_3^0=1.0 \text{ ч}$, $\varphi_{*3}=0.25$, $\varphi_{3^*}=0.85$;
- стадия №4: основной аппарат - фильтр-пресс камерный механизированный (рамный), чугунный, материал перегородки - полипропилен;
- стадия №5: основной аппарат – горизонтальная емкость, стальная, без перемешивающего устройства; $v_5=13.281 \text{ м}^3/\text{т}$; $\tau_5^0=1.0 \text{ ч}$, $\varphi_{*5}=0.2$, $\varphi_{5^*}=0.9$;

- стадия №6: основной аппарат - емкостной реактор, стальной, с трехлопастной мешалкой, рубашкой и выносным теплообменником;
- стадия №7: основной аппарат - емкостной реактор, стальной, с лопастной мешалкой, рубашкой и выносным теплообменником.

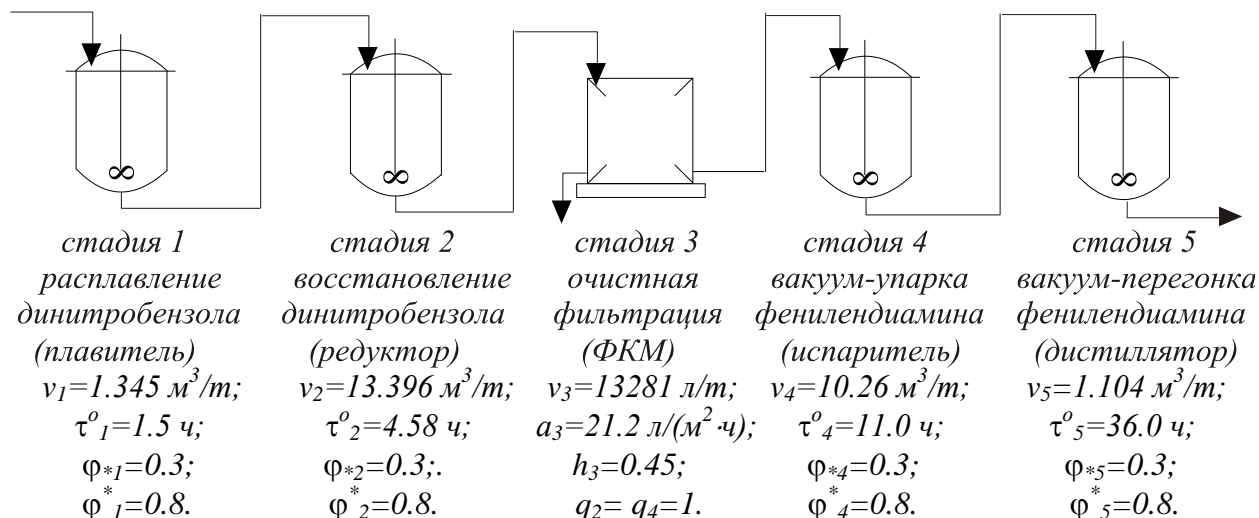


Рисунок 4.1 Данные для расчета оборудования ТС по выпуску 1,3 фенилендиамина

Для оснащения стадий выработки 1,3 фенилендиамина подходят следующие аппараты цеха №33 Тамбовского ОАО "Пигмент":

- стадия №1: R2301 (рабочий объем 2.166 м³);
- стадия №2: R2801(A) и R2801(B) (6.2 м³), R2906 (6.3 м³);
- стадия №3: D2860(B), D2860(C), D2404(A) и D2461 (6.3 м³);
- стадия №4: PF2404 и PF2404(A) (рабочая поверхность 57.8 м²);
- стадия №5: D2952(A) и D2952(B) (5.1 м³), D2405 и D2411 (10 м³);
- стадия №6: R2401(A) и R2401(B) (5.1 м³), R2406(A) и R2406(B) (6.3 м³);
- стадия №7: R2904 (3.7 м³), R2402 (5.145 м³).

Согласно алгоритму решения задачи 1, принимаем: $n_j = 1, R_j = 1, j = 1, \dots, 7$, следовательно $u_j=1, j=1, \dots, 7$. Фильтрация очистная, т.е. $J_f = \emptyset$ и $t_j = \tau_j^o, j = 1, 2, 3, 5, 6, 7$.

Определяем длительность цикла обработки партий продукта и размер партии: $T_{ц} = \max\{1.5, 4.58, 1.0, 1.0, 11.0, 36.0\} = 36.0 \text{ ч},$

$$w = Q \cdot T_{ц} / T = 170 \cdot 36 / (110 \cdot 24) = 2.32 \text{ т.}$$

Максимально допустимая длительность обработки партии продукта на стадии фильтрования: $\tau_4^* = \min\left\{36.0, \frac{36.0-1}{0.45} \cdot 1, \frac{36.0-1}{0.45} \cdot 1\right\} = \min\{36.0, 77.78, 77, 78\} = 36.0 \text{ ч.}$

Минимальные и максимальные допустимые размеры аппаратов стадий ТС:

$$\text{- стадия №1: } V_{1*} = 1 \cdot \frac{1.345 \cdot 2.32}{0.8} = 3.9 \text{ м}^3, \quad V_1^* = 1 \cdot \frac{1.345 \cdot 2.32}{0.2} = 15.6 \text{ м}^3;$$

$$\text{- стадия №2: } V_{2*} = 1 \cdot \frac{13.396 \cdot 2.32}{0.8} = 38.85 \text{ м}^3, \quad V_2^* = 1 \cdot \frac{13.396 \cdot 2.32}{0.3} = 103.6 \text{ м}^3;$$

$$\text{- стадия №3: } V_{3*} = 1 \cdot \frac{13.396 \cdot 2.32}{0.85} = 36.56 \text{ м}^3, \quad V_3^* = 1 \cdot \frac{13.396 \cdot 2.32}{0.25} = 124.3 \text{ м}^3;$$

$$\begin{aligned}
 & \text{- стадия №4: } F_{4*} = \frac{13281 \cdot 2.32}{21.2 \cdot 36.0} = 40.37 \text{ м}^2, \quad F_4^* = 57.8 \text{ м}^2; \\
 & \text{- стадия №5: } V_{5*} = 1 \cdot \frac{13.281 \cdot 2.32}{0.9} = 34.24 \text{ м}^3, \quad V_5^* = 1 \cdot \frac{13.281 \cdot 2.32}{0.2} = 154.1 \text{ м}^3; \\
 & \text{- стадия №6: } V_{6*} = 1 \cdot \frac{10.26 \cdot 2.32}{0.8} = 29.75 \text{ м}^3, \quad V_6^* = 1 \cdot \frac{10.26 \cdot 2.32}{0.3} = 79.34 \text{ м}^3; \\
 & \text{- стадия №7: } V_{7*} = 1 \cdot \frac{1.104 \cdot 2.32}{0.8} = 3.2 \text{ м}^3, \quad V_7^* = 1 \cdot \frac{1.104 \cdot 2.32}{0.3} = 8.54 \text{ м}^3.
 \end{aligned}$$

Таким образом, при выбранных значениях n_j и R_j , $j = 1, \dots, 7$, режиме функционирования оборудования ТС удастся оснастить подходящими основными аппаратами только стадии №4 и №7.

Задача решалась в интерактивном режиме. По рекомендациям технолога были реализованы следующие этапы подхода к допустимому решению:

1) установить на стадиях №№2, 3, 4, 5, 6 по два основных аппарата и организовать на стадиях №№2, 3, 4, 5 синхронную обработку равных долей партий материалов (работа "в две нитки"), а на стадии №6 - обработку каждым из аппаратов целых партий со сдвигом по времени;

2) ввести перед стадией №7 дополнительную стадию, оснащенную емкостью без перемешивающего устройства и объединить в ней 6 партий упаренного продукта.

Изменения в исходных данных:

- стадия №7 получает номер 8;
- данные по стадии №7: основной аппарат – вертикальная емкость, стальная, без перемешивающего устройства; $v_7 = 1.104 \text{ м}^3/\text{Т}$; $\tau_7^0 = 1.0 \text{ ч}$; $\varphi_{*7} = 0.2$; $\varphi_7^* = 0.9$;
- подходящие аппараты для стадии №7: D2402 (6.3 м^3), D2803(A) (10 м^3);
- $n_j = 2$, $p_j = 1$, $j = 2, 3, 4, 5$; $n_6 = 2$, $p_6 = 0$; $R_j = 1/6$, $j = 7, 8$.

Повторяем решение задачи 1 с новыми исходными данными.

Коэффициенты изменения размера партии продукта на стадиях: $u_1 = u_6 = 1$; $u_j = 0.5$, $j=2, 3, 4, 5$; $u_7 = u_8 = 6$.

Минимальные периоды между выходом со стадий двух последовательных партий продукта: $t_j = \tau_j^0$, $j = 1, \dots, 5$;

$$t_6 = \tau_6^0 / n_6 = 5.5 \text{ ч};$$

$$t_8 = R_8 \cdot \tau_8^0 = 6 \text{ ч}.$$

$$t_7 = R_7 \cdot \left(\tau_7^0 + \max_{k < 7} \left\{ \left(\frac{1}{R_7} - \frac{1}{R_k} \right) \cdot t_k \right\} \right) = (1/6) \cdot \{ 1.0 + [(6-1) \cdot 5.5] \} = 4.75 \text{ ч};$$

Длительность цикла обработки партий продукта

$$T_{ц} = \max \{ 1.5, 4.58, 1.0, 1.0, 5.5, 4.75, 6.0 \} = 6.0 \text{ ч}.$$

Размер партии продукта $w = Q \cdot T_{ц} / T = 170 \cdot 6 / (110 \cdot 24) = 0.386 \text{ т}$.

Максимально допустимая длительность фильтрования партии продукта

$$\tau_4^* = \min \left\{ 6.0, \frac{6.0 - 1}{0.45} \cdot 1, \frac{6.0 - 1}{0.45} \cdot 1 \right\} = \min \{ 6.0, 11.1, 11.1 \} = 6.0 \text{ ч}.$$

Граничные значения размеров основных аппаратов стадий ТС:

$$\begin{aligned}
 \text{стадия №1} - V_{1*} &= 1 \cdot \frac{1.345 \cdot 0.386}{0.8} = 0.65 \text{ м}^3, & V_1^* &= 1 \cdot \frac{1.345 \cdot 0.386}{0.2} = 2.6 \text{ м}^3; \\
 \text{стадия №2} - V_{2*} &= 0.5 \cdot \frac{13.396 \cdot 0.386}{0.8} = 3.23 \text{ м}^3, & V_2^* &= 0.5 \cdot \frac{13.396 \cdot 0.386}{0.3} = 8.63 \text{ м}^3; \\
 \text{стадия №3} - V_{3*} &= 0.5 \cdot \frac{13.396 \cdot 0.386}{0.85} = 3.04 \text{ м}^3, & V_3^* &= 0.5 \cdot \frac{13.396 \cdot 0.386}{0.25} = 10.34 \text{ м}^3; \\
 \text{стадия №4} - F_{4*} &= \frac{13281 \cdot 0.386}{21.2 \cdot 6.0} = 40.3 \text{ м}^2, & F_4^* &= 57.8 \text{ м}^2; \\
 \text{стадия №5} - V_{5*} &= 0.5 \cdot \frac{13.281 \cdot 0.386}{0.9} = 2.85 \text{ м}^3, & V_5^* &= 0.5 \cdot \frac{13.281 \cdot 0.386}{0.2} = 12.82 \text{ м}^3; \\
 \text{стадия №6} - V_{6*} &= 1 \cdot \frac{10.26 \cdot 0.386}{0.8} = 4.96 \text{ м}^3, & V_6^* &= 1 \cdot \frac{10.26 \cdot 0.386}{0.3} = 13.22 \text{ м}^3; \\
 \text{стадия №7} - V_{7*} &= 6 \cdot \frac{1.104 \cdot 0.386}{0.9} = 2.85 \text{ м}^3, & V_7^* &= 6 \cdot \frac{1.104 \cdot 0.386}{0.2} = 12.8 \text{ м}^3; \\
 \text{стадия №8} - V_{8*} &= 6 \cdot \frac{1.104 \cdot 0.386}{0.8} = 3.2 \text{ м}^3, & V_8^* &= 6 \cdot \frac{1.104 \cdot 0.386}{0.3} = 8.54 \text{ м}^3.
 \end{aligned}$$

Результат решения задачи 1 (вариант АО ТС и способ обработки партий продукта на ее стадиях):

- стадия №1: $n_1 = 1, V_1 = 2.166 \text{ м}^3$ (R2301), $R_1=1$;
- стадия №2: $n_2 = 2, V_2 = 6.2 \text{ м}^3$ (R2801(A,B)), $p_2=1, R_2=1$;
- стадия №3: $n_3 = 2, V_3 = 6.3 \text{ м}^3$ (D2860(B,C)), $p_3=1, R_3=1$;
- стадия №4: $n_4 = 2, F_4 = 57.8 \text{ м}^2$ (PF2404, PF2404(A)), $p_4=1, R_4=1$;
- стадия №5: $n_5 = 2, V_5 = 5.1 \text{ м}^3$ (D2952(A,B)), $p_5=1, R_5=1$;
- стадия №6: $n_6 = 2, V_6 = 5.1 \text{ м}^3$ (R2401(A,B)), $p_6=0, R_6=1$;
- стадия №7: $n_7 = 1, V_7 = 6.3 \text{ м}^3$ (D2402), $R_7=1/6$;
- стадия №8: $n_8 = 1, V_8 = 3.7 \text{ м}^3$ (R2904), $R_8=1/6$.

Решение задачи 2: определение минимального срока выпуска 1,3 фенилендиамина в количестве 170 т на ТС с выбранным АО.

Поскольку задача 2 решается по окончании решения задачи 1, проверять выполнение условия (4.16) нет необходимости, можно сразу определять размер партии продукта $w = w^* = \min_{j=1, \dots, 3, 5, \dots, 8} \left\{ \frac{V_j \cdot \Phi_j^*}{u_j \cdot v_j} \right\} =$

$$\begin{aligned}
 &= \min \left\{ \frac{2.166 \cdot 0.8}{1 \cdot 1.345}, \frac{6.2 \cdot 0.8}{0.5 \cdot 13.396}, \frac{6.3 \cdot 0.85}{0.5 \cdot 13.396}, \frac{5.1 \cdot 0.9}{0.5 \cdot 13.281}, \frac{5.1 \cdot 0.8}{1 \cdot 10.26}, \frac{6.3 \cdot 0.9}{6 \cdot 1.104}, \frac{3.7 \cdot 0.8}{6 \cdot 1.104} \right\} = \\
 &= \min \{1.288, 0.74, 0.8, 0.691, 0.397, 0.856, 0.447\} = 0.397.
 \end{aligned}$$

Расчет длительности фильтрования партии продукта и коррекция длительностей пребывания партии в аппаратах соседних стадий:

$$\tau_4 = \frac{v_4 \cdot w}{F_4 \cdot a_4} = \frac{13396 \cdot 0.397}{57.8 \cdot 21.2} = 4.34 \text{ ч}, \quad t_4 = \tau_4, \quad \tau_j = \tau_j^0 + h_4 \cdot \tau_4 \cdot q_j, \quad j = 3, 5, \text{ т.е.}$$

$$\tau_3 = \tau_5 = 1.0 + 0.45 \cdot 4.34 = 2.95 \text{ ч}, \quad t_3 = \tau_3, \quad t_5 = \tau_5.$$

Длительность цикла обработки партий продукта $T_{ц} = \max \{1.5, 4.58, 2.95, 4.34, 2.95, 5.5, 4.75, 6.0\} = 6.0 \text{ ч.}$

Минимальная продолжительность выпуска заданного количества продукта
 $T = Q \cdot T_{\text{н}} / w = 170 \cdot 6 / (0.397) = 2570 \text{ ч} = 107 \text{ сут.}$

Степени заполнения аппаратов стадий №№1, 2, 3, 5, 6, 7, 8:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 1 \cdot \frac{1.345 \cdot 0.397}{2.166} = 0.247; & \varphi_2 &= 0.5 \cdot \frac{13.396 \cdot 0.397}{6.2} = 0.43; \\ \varphi_3 &= 0.5 \cdot \frac{13.396 \cdot 0.397}{6.3} = 0.42; & \varphi_5 &= 0.5 \cdot \frac{13.281 \cdot 0.397}{5.1} = 0.517; \\ \varphi_6 &= 1 \cdot \frac{10.26 \cdot 0.397}{5.1} = 0.798; & \varphi_7 &= 6 \cdot \frac{1.104 \cdot 0.397}{6.3} = 0.417; \\ \varphi_8 &= 6 \cdot \frac{1.104 \cdot 0.397}{3.7} = 0.71. \end{aligned}$$

Минимально необходимое "число" аппаратов на стадиях ТС:

$$\begin{aligned} n_{1*} &= \frac{1.5}{6} \cdot 1 = 0.25; & n_{2*} &= \frac{4.58}{6} \cdot 1 = 0.763; & n_{3*} &= n_{5*} = \frac{2.95}{6} \cdot 1 = 0.492; \\ n_{4*} &= \frac{4.34}{6} \cdot 1 = 0.723; & n_{6*} &= \frac{5.5}{6} \cdot 2 = 1.83; & n_{7*} &= \frac{4.75}{6} \cdot 1 = 0.792; & n_{8*} &= \frac{6}{6} \cdot 1 = 1.0. \end{aligned}$$

4.4 Расчет оборудования ТС при проектировании нового МХП

Задача определения аппаратурного оформления ТС проектируемого МХП предусматривает определение количества стадий системы, выбор для каждой из них числа и основных размеров аппаратов указанного типа, позволяющих выпустить продукты заданного ассортимента в требуемых объемах за отведенный промежуток времени и обеспечивающих минимум затрат на приобретение и обслуживание оборудования.

Математическая постановка этой задачи является модернизацией постановки задачи 1, представленной в предыдущем разделе и ориентированной на организацию выпуска нового продукта с использованием оборудования действующего МХП, см (4.1) - (4.15). Необходимость модернизации вызвана следующими обстоятельствами:

1. Проектируется новое производство, поэтому критерий оптимальности АО ТС не включает штраф за привлечение дополнительного оборудования, а множества $VS_j, j = 1, \dots, J$ основных размеров аппаратов, которые пригодны для установки на стадиях проектируемой ТС, формируются на основе каталогов оборудования, выпускаемого предприятиями химического машиностроения.

2. Проектируется ТС, предназначенная для выпуска за время T нескольких (I) продуктов в объемах $Q_i, i = 1, \dots, I$. Поэтому в состав математической модели проектирования АО ТС МХП необходимо включить ограничение на сумму продолжительностей выпуска продуктов, а величины, характеризующие процессы обработки партий продуктов на стадиях ТС, должны получить дополнительный индекс i принадлежности к одному из продуктов заданного ассортимента.

3. Модель должна учитывать возможность неполного совпадения процессов синтеза продуктов ассортимента I . Для этого вводятся множества $E_j, j = 1, \dots, J$ номеров продуктов, партии которых обрабатываются в аппаратах стадии j ТС, а

также номера j_i', j_i'' стадий обработки партий i -го продукта, предшествующей и следующей за стадией j .

На основании вышесказанного задача определения аппаратного оформления ТС проектируемого МХП формулируется следующим образом: для заданного числа стадий ТС и способа взаимодействия их основных аппаратов при выпуске каждого продукта найти такие значения $V_j, X_j, n_j, T_i, p_{ij}, R_{ij}, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J$, при которых критерий

$$Z = \sum_{j=1}^J \alpha_j \cdot Y_j^{\beta_j} \cdot \left[n_j + \frac{1}{T} \cdot \sum_{i \in E_j} T_i \cdot n_{*ij} \cdot \left(\frac{t_{ij} \cdot s_{ij}}{\tau_{ij}} - 1 \right) \right] \quad (4.21)$$

достигает минимума и выполняются условия:

1. Ограничения на рабочие размеры аппаратов стадий системы:

$$Y_j = \begin{cases} V_j \in [V_{j*}, V_j^*] \cap VS_j, & j \in J_b \\ X_j \in [X_{j*}, X_j^*] \cap VS_j, & j \in J_s \end{cases}, \quad (4.22)$$

где
$$V_{j*} = \max_{i \in E_j} \left\{ u_{ij} \cdot \frac{v_{ij} \cdot w_i}{\varphi_j^*} \right\}, \quad j \in J_b \cup J_d, \quad (4.23)$$

$$V_j^* = \min_{i \in E_j} \left\{ u_{ij} \cdot \frac{v_{ij} \cdot w_i}{\varphi_{j*}} \right\}, \quad j \in J_b, \quad (4.24)$$

$$X_{j*} = F_{j*} = \max_{i \in E_j} \left\{ u_{ij} \cdot \frac{v_{ij} \cdot w_i}{\delta_j} \right\}, \quad j \in J_f, \quad (4.25)$$

$$X_{j*} = \max_{i \in E_j} \left\{ \frac{g_{ij} \cdot w_i}{a_{ij} \cdot \tau_{ij}^*} \right\}, \quad j \in J_s / J_f, \quad (4.26)$$

$$X_j^* = \max \{ X_j / X_j \in VS_j \}, \quad j \in J_s. \quad (4.27)$$

2. Ограничение на сумму продолжительностей выпуска продуктов:

$$\sum_{i=1}^I T_i \leq T, \quad (4.28)$$

где
$$T_i = \frac{Q_i \cdot T_{\text{ци}}}{w_i}, \quad i = 1, \dots, I, \quad (4.29)$$

$$T_{\text{ци}} = \max_{j=1, \dots, J} \{ t_{ij} \}, \quad i = 1, \dots, I, \quad (4.30)$$

$$t_{ij} = \frac{R_{ij}}{s_{ij}} \cdot \left(\frac{\tau_{ij}}{r_{ij}} + \max_{\substack{k < j, \\ R_k > R_j}} \left\{ \left(\frac{1}{R_{ij}} - \frac{1}{R_{i,j_i'}} \right) \cdot t_{ik} \right\} + \max_{\substack{k > j, \\ R_k > R_j}} \left\{ \left(\frac{1}{R_{ij}} - \frac{1}{R_{i,j_i''}} \right) \cdot t_{ik} \right\} \right), \quad j = 1, \dots, J, \quad i \in E_j. \quad (4.31)$$

Здесь
$$s_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j \in J_b \cup J_f \text{ и } p_{ij} = 1 \\ n_j, & \text{если } j \in J_s / J_f \text{ или } p_{ij} = 0 \end{cases}, \quad r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j \in J_b \cup J_f \\ R_{ij}, & \text{если } j \in J_s / J_f \end{cases}.$$

3. Соотношения для определения характеристик режима обработки партий продуктов на стадиях системы:

$$n_{*ij} = \frac{t_{ij}}{T_{ui}} \cdot [p_{ij} + (1 - p_{ij}) \cdot n_j], \quad j = 1, \dots, J, \quad i \in E_j, \quad (4.32)$$

$$u_{ij} = \frac{p_{ij} + (1 - p_{ij}) \cdot n_j}{n_j} \cdot \frac{1}{R_{ij}}, \quad j = 1, \dots, J, \quad i \in E_j, \quad (4.33)$$

$$\tau_{ij}^* = \min \left\{ T_{ui}, \min_{k=j_i, j_i''} \left\{ \frac{T_{ui} - q_{ik} \cdot \tau_{ik}^0}{h_{ij}} \cdot [q_{ik} + (1 - q_{ik}) \cdot h_{ij}] \cdot [p_{ij} + (1 - p_{ij}) \cdot n_j] \right\} \right\}, \quad j \in J_s / J_f, \quad i \in E_j \quad (4.34)$$

$$\tau_{ij} = \frac{m_{ij} \cdot \delta_j}{v_{ij} \cdot a_{ij}}, \quad j \in J_f, \quad i \in E_j, \quad (4.35)$$

$$\tau_{ij} = \frac{g_{ij} \cdot w_i}{a_{ij} \cdot X_j}, \quad j \in J_s / J_f, \quad i \in E_j, \quad (4.36)$$

$$\tau_{il} = \tau_{il}^0 + q_{il} \cdot \tau_{ij} \cdot h_{ij}, \quad j \in J_s; \quad l = j_i', j_i''; \quad i \in E_j. \quad (4.37)$$

Число аппаратных стадий ТС J и маршруты обработки партий продуктов ассортимента I определяются выбранным способом совмещения стадий синтеза продуктов. Чаще всего эта операция выполняется с привлечением эксперта (опытного технолога). Можно также использовать процедуру оценки степени подобия технологических и конструкционных признаков стадий синтеза различных продуктов, см. [19-21]. Способы взаимодействия основных аппаратов периодического и непрерывного действия, установленных на различных стадиях ТС, подробно рассмотрены в разделе 3.3.

Критерий (4.21) отличается от критерия (4.1) не только отсутствием одной составляющей, но и тем, что произведения $n_{*ij} \cdot (t_{ij} \cdot s_{ij} / \tau_{ij} - 1)$, $j = 1, \dots, J$, $i \in E_j$, характеризующие увеличение числа основных аппаратов стадии j ТС при выпуске i -го продукта из-за изменений размера его партии от стадии к стадии системы, усредняются с учетом продолжительностей выпуска продуктов.

Выражение (4.31) и порядок его применения подробно описаны в разделе 3.5. При расчете значения T_{ui} , $i \in (1, \dots, I)$ для ТС с разветвленной структурой, это выражение последовательно применяется ко всем линейным цепочкам стадий обработки партий i -го продукта, причем значения t_{ij} по стадиям определяются в порядке убывания значений R_{ij} . Если стадия j входит в несколько цепочек, то из найденных для нее значений t_{ij} выбирается наибольшее.

Задача (4.21)-(4.37) относится к классу задач частично-целочисленного нелинейного программирования. Главной проблемой ее решения является разделение заданного периода выпуска продукции T на части T_i , $i = 1, \dots, I$ – продолжительности производства продуктов ассортимента I в требуемых объемах, причем необходимо выбрать такой вариант разделения, который обеспечивал бы возможность обработки партий всех продуктов в аппаратах одного и того же размера на всех стадиях ТС. На разных стадиях системы соотношение материальных индексов продуктов может быть неодинаковым (и даже противоположным), поэтому выполнить эту операцию успешно удастся далеко не всегда. При большом ассортименте выпускаемых продуктов некоторые одноименные стадии обработки их партий иногда приходится разделять: для разных групп продуктов подбирать стандартные аппараты разных размеров.

Предлагается следующий способ решения этой проблемы: сформировать и решить вспомогательную задачу поиска значений размеров партий продуктов, которые минимизируют разброс значений операционных индексов продуктов, проходящих каждую стадию ТС (операционный индекс стадии j при выпуске i -го продукта – это объем или масса материалов, одновременно обрабатываемых в одном аппарате). Задача формулируется следующим образом: необходимо найти значения $w_i, i=1, \dots, I$, доставляющие минимум функции

$$f(w_1, w_2, \dots, w_I) = \sum_{j=1}^J \left[\frac{\max_{i \in E_j} (y_{ij} \cdot w_i \cdot c_{ij}) - \min_{i \in E_j} (y_{ij} \cdot w_i \cdot c_{ij})}{\max_{i \in E_j} (y_{ij} \cdot w_i \cdot c_{ij})} \right]^2, \quad (4.38)$$

при выполнении ограничений:

$$K_T \cdot T \leq \sum_{i=1}^I \frac{Q_i \cdot T_{\text{ц}i}}{w_i} \leq T, \quad (4.39)$$

$$\frac{Q_i \cdot T_{\text{ц}i}}{w_i} \geq \sum_{j=1}^J t_{ij}, \quad i = 1, \dots, I. \quad (4.40)$$

Здесь $y_{ij} = \begin{cases} v_{ij}, & j \in J_b \cup J_f \\ g_{ij}, & j \in J_s / J_f \end{cases}, \quad c_{ij} = \begin{cases} u_{ij}, & j \in J_b \cup J_f \\ 1/a_{ij}, & j \in J_s / J_f \end{cases}, \quad i \in E_j, \quad j = 1, \dots, J.$

Ограничение (4.39) образовано из условий (4.28), (4.29). Значение K_T следует принимать близким к единице (0.95 – 0.99). Ограничение (4.40) показывает, что продолжительность выпуска продукта не может быть меньше суммы длительностей всех стадий обработки одной его партии (если $i \notin E_j$, то $t_{ij} = 0$).

Задача (4.38)-(4.40) является задачей нелинейного программирования. Для ее решения можно применить известные методы поиска экстремума функции многих переменных при наличии ограничений, например, метод прямого поиска с возвратом [22-24].

Наилучшим с точки зрения капитальных затрат на оборудование и его обслуживание, а также с точки зрения энергопотребления, потерь сырья и промежуточных продуктов является вариант АО ТС, предусматривающий установку на ее стадиях минимально возможного числа основных аппаратов. Наиболее приемлемый с точки зрения затрат на обслуживание оборудования и качества продукции режим обработки партий продуктов в аппаратах стадий системы не должен быть связан с изменениями размеров партий продуктов от стадии к стадии (вторая составляющая критерия (4.21) будет равна нулю). Поэтому предлагается следующий алгоритм решения задачи (4.21)-(4.37):

1. Выбрать способ взаимодействия основных аппаратов стадий $j \in J_b$ и $j \in J_s$, см. раздел 3.3, т.е. определить значения $q_{il}, l=j_i', j_i'', i \in E_j, j \in J_s$.
2. Зафиксировать значения $n_j = 1, p_{ij} = 0, R_{ij} = 1, j = 1, \dots, J, i \in E_j$.
3. Определить значения $T_{\text{ц}i}, i = 1, \dots, I$ по соотношениям (4.30), (4.31), (4.35), (4.37) с учетом стадий $j \in J_b \cup J_f$, для которых значения $\tau_{ij}, i \in E_j$ заданы или могут быть определены по исходным данным. Найти значения $\tau_{ij}^*, j \in J_s / J_f, i \in E_j$ по формуле (4.34).

4. Решить задачу (4.38)-(4.40), определить по соотношениям (4.23)-(4.27) граничные значения размеров аппаратов стадий ТС и выбрать минимальные значения размеров стандартных аппаратов, удовлетворяющих ограничению (4.22).

5. Если для каких-либо стадий подобрать подходящие размеры аппаратов не удастся, изменить выбранный способ взаимодействия аппаратов стадий (ввести в систему или удалить дополнительные стадии, оснащаемые промежуточными емкостями) или (и) изменить принятые значения n_j , p_{ij} , R_{ij} , $j = 1, \dots, J$, $i \in E_j$ так, как предлагается в разделе 4.1. Из всех возможных способов обеспечения выполнения ограничения (4.22) выбрать тот, которому соответствует минимальное значение критерия (4.21).

6. Определить по формуле (4.36) значения τ_{ij} , $j \in J_s / J_f$, $i \in E_j$, скорректировать по (4.37) значения τ_{ij} для соседних с ними стадий и вновь рассчитать значения $T_{ци}$, $i=1, \dots, I$. Вернуться к п 4. алгоритма, если отклонение новых значений от первоначальных превышает заданную точность.

7. Определить значения T_i , $i=1, \dots, I$, решить для каждого продукта заданного ассортимента задачу 2, сформулированную в разделе 4.2, и получить таким образом окончательные значения характеристик режима работы аппаратов стадий ТС.

Базовый вариант АО ТС, полученный согласно п.п. 1-7, можно попытаться улучшить, используя алгоритмическую схему локальной оптимизации:

1. Сформировать окрестность базового варианта путем последовательного увеличения на 1 значений n_j на стадиях, где $n_j = n_{*ij}$, $i \in E_j$ (по одной, попарно, тройками и т.д.).

2. Определить соответствующие варианты АО системы и оценить их эффективность с помощью критерия (4.21).

3. Если в окрестности найдется вариант АО предпочтительнее базового, то аналогично формируется его окрестность и т.д., в противном случае в качестве оптимального принимается базовый вариант.

Заметим, что увеличивать значения n_j на стадиях, где $n_j > n_{*ij}$, не имеет смысла, т.к. это не может привести к изменению значений $T_{ци}$, $i \in (1, \dots, I)$, а следовательно и значений основных размеров аппаратов стадий ХТС.

Еще более сложной является задача расчета оборудования ТС МХП, которая проектируется с учетом возможности параллельной наработки некоторых продуктов заданного ассортимента. В этом случае выделяются группы продуктов, которые могут выпускаться одновременно, определяются все возможные последовательности выпуска продуктов, принадлежащих к разным группам (какие продукты 2-й группы могут выпускаться по окончании выпуска одного из продуктов 1-й группы и т.д.), и вместо ограничения (4.28) записывается система ограничений вида $\sum_{i \in S_k} T_i \leq T$, где S_k – множество номеров продуктов, принадлежащих к одной из последовательностей.

Практические расчеты оборудования ТС реальных проектируемых и пере-профилируемых МХП (более 30 производств) с применением программного обеспечения, реализующего предлагаемые алгоритмы решения задач (4.1)-(4.15) и (4.21)-(4.35), см. раздел 5, показали высокую эффективность разработанной методики автоматизированного проектирования их АО.

5 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ ОБОРУДОВАНИЯ ТС МХП

Программное обеспечение, разработанное на основе постановок задач и алгоритмов их решения, которые представлены в разделе 4, включает базу характеристик оборудования одного из производств ОАО "Пигмент", г. Тамбов (BAZAOBOR) и программу WIBOR, предназначенную для решения задач 1 и 2.

5.1 База оборудования: руководство пользователя

База характеристик оборудования разработана в среде CLARION и представляет собой реляционную структуру, см. рисунок 5.1, в основе которой лежат:

- множество (список) оборудования;
- множество (список) наименований характеристик оборудования;
- связи между множеством оборудования и множеством характеристик оборудования.

В результате взаимодействия этих структур формируется множество характеристик каждого конкретного аппарата.

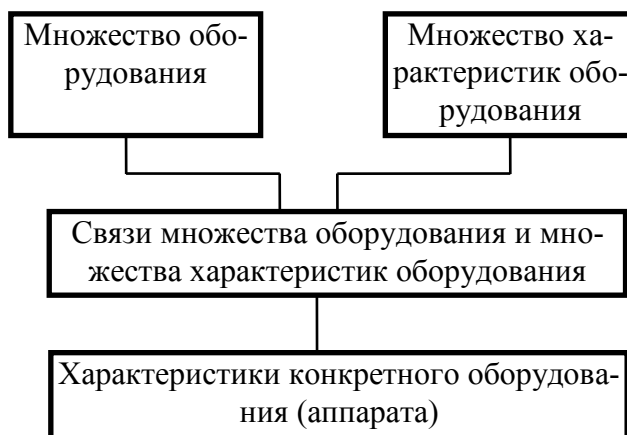


Рисунок 5.1 Структура базы оборудования

Каждый элемент множества оборудования представляет собой конкретный установленный аппарат, который характеризуется обязательными параметрами: обозначение в ТС (номер по схеме), место установки (цех, высота, оси, ряды), наименование аппарата и др., например:

Номер по схеме:	R2705(B)
Общее наименование:	ВЭЭ Реактор емкостной с перемешивающим устройством
Класс оборудования:	Реакторы
Вид оборудования:	Реактор вертикальный цилиндрический с мешалками и приводом
Наименование в цехе:	Аппарат вертикальный, цилиндрический, V = 3.2 м.куб.
Место установки	: Цех 32
Инвентарный номер:	13212
Номер регистрации	: 014755
Отметка по высоте	: 13.2
оси	: 29-30
ряды	: А-Б
Дата установки	: 1.10.1995
Примечание	: Реактор

Множество оборудования представляет собой список всех установленных аппаратов производства. Для удобства поиска необходимой информации оборудование разделено на классы: емкости, реакторы, фильтры, насосы, сушилки и т.д. В свою очередь, каждый класс разделен на виды, например класс фильтры разделен на следующие виды: фильтр-пресс, друк-фильтр, листовой фильтр, нутч-фильтр, барабанный фильтр, ленточный фильтр и т.д. Множество наименований характеристик оборудования представляет собой список, в котором содержатся наименования характеристик аппарата независимо от его типа. Например, объем аппарата, высота аппарата, материал обечайки, материал фильтрующей перегородки, наличие перемешивающих устройств и их тип, наличие теплообменных устройств и др. Связи между множествами позволяют задать для каждого конкретного аппарата присущий только ему список характеристик и их значения именно для этого аппарата. Например, для емкостного аппарата будет задана характеристика "объем" и ее значение, для фильтра – "площадь поверхности фильтрования" и ее значение.

Таким образом, для каждого аппарата можно задать любую информацию, необходимость наличия которой в базе определяется персоналом производства (технологами, механиками и др.).



Рисунок 5.2 Схема просмотра списка оборудования выбранного типа

В зависимости от целей поиска информации в базе оборудование можно просматривать по классам, видам или цехам. Например, можно просмотреть список оборудования установленного в цехе № 32 или список всех фильтр-прессов, независимо от места их установки. На рисунке 5.2 представлена схема просмотра списка вертикальных емкостей с перемешивающими устройствами независимо от места их установки. Заметим, что этот просмотр основан на анализе обязательных параметров аппаратов, а их характеристики типа "объем", "наличие перемешивающих устройств" и др. в данном случае не просматриваются.

Множество (список) характеристик оборудования содержит наименования всех возможных характеристик всех типов аппаратов. Для того, чтобы можно было ориентироваться в этом списке, все характеристики разделены на классы. Например, класс "геометрия аппарата", класс "ремонтные характеристики", класс "материалы" и др. В свою очередь, каждый класс разделен на виды, включающие определенные характеристики. Например, класс "материал" содержит виды "материал корпуса", и "материал защитного покрытия", а вид "материал корпуса" содержит характеристики "материал корпуса", "материал рубашки", "материал вала перемешивающего устройства" и др. Структурно здесь полная аналогия с оборудованием, которое тоже разделено на классы и виды. Кроме того, каждая характеристика содержит признак, определяющий способ определения ее значения для конкретного аппарата: значение может быть введено вручную, либо выбрано из заранее подготовленного списка. Например, объем аппарата вводится вручную, геометрия крышки выбирается из списка: плоская, сферическая, торосферическая, эллиптическая, см. рисунок 5.3.

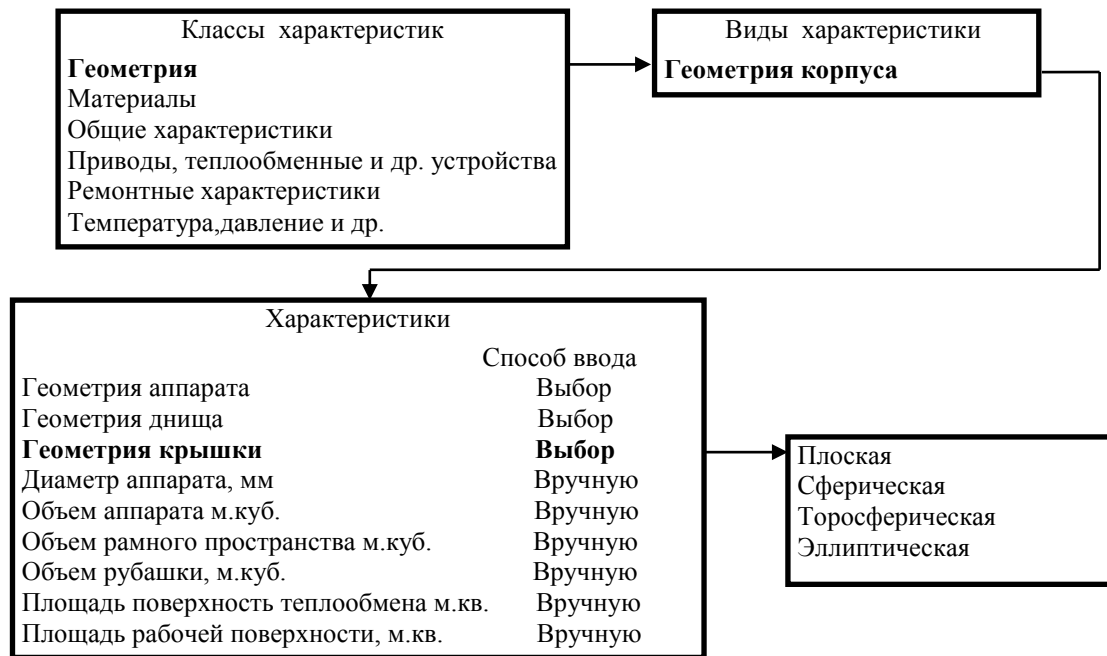


Рисунок 5.3 Варианты ввода значений характеристик аппаратов

Связь множества оборудования и множества его характеристик позволяет назначить каждому конкретному аппарату те характеристики, которые ему присущи и ввести (или выбрать) значения этих характеристик. На рисунке 5.4 представлена схема назначения характеристик аппаратам и ввод их значений.

сколько аппарат должен быть оснащен лопастной мешалкой «И» его объем должен быть равен 10 м^3 , условие поиска будет выглядеть, как "P1 & P2".

Собственно поиск выполняется автоматически (без участия пользователя). В ходе поиска из базы будут выбраны все аппараты, у которых имеются характеристики "мешалка" и "объем аппарата м.куб.", причем значение первой характеристики – "лопастная", а значение второй – "10". На рисунке 5.5 представлена структурная схема составления запроса и поиска для рассмотренного примера.



Рисунок 5.5 Структурная схема составления запроса и поиска

Заметим, что если сформировать условие поиска "P1 ! P2", в базе будут найдены все аппараты, оснащенные лопастными мешалками, независимо от их объема, и все аппараты, объем которых равен 10 м^3 , независимо от наличия мешалки и ее типа.

Программа позволяет осуществлять и намного более сложные условия поиска с использованием знаков «равно», «не равно», «больше или равно», «меньше или равно», «и», «или». Например, характеристики поиска:

- P1 Мешалка = Лопастная
- P2 Мешалка = Пропеллерная
- P3 Защитное покрытие = Эбонит
- P4 Защитное покрытие = Эмаль
- P5 Давление рабочее, МПа > 0.6

Условие поиска: "(P1 ! P2) & (P3 ! P4) & P5". Результатом выполнения поиска в этом случае будут все аппараты, оснащенные лопастными или пропеллерными мешалками, имеющие защитное покрытие, причем это должна быть эмаль или эбонит, выдерживающие давление более 0.6 МПа.

5.2. Программа WIBOR: руководство пользователя

Программа WIBOR разработана в среде CLARION и реализует алгоритмы решения задач 1 и 2, представленные в разделе 4. При ее разработке предусмотрена связь с базой оборудования, возможность выбора конкретных аппаратов для реализации стадий выпуска продукта, а также возможность предварительного определения характеристик аппаратов стадий проектируемой ТС МХП.

Запуск программы и вызов ее главного меню, см. рисунок 5.6, осуществляет файл MAIN.BAT или файл MAIN.EXE. Пункт "Ввод исходных данных, расчет" осуществляет запуск модулей ввода исходных данных и расчетов аппаратного оформления новых ТС, а также коррекции данных, уже имеющихся в программе. Пункт "Меню администратора" предназначен для настройки программы (изменения реестра типов оборудования, коррекции списка исходных данных для стадий ТС). Пользователю не рекомендуется входить в "Меню администратора", т.к. изменение настройки программы, как правило, требует внесения изменений в исходный текст программы. В пункте "Кого ругать и к кому обращаться" указаны имена, адреса и телефоны разработчиков программы.

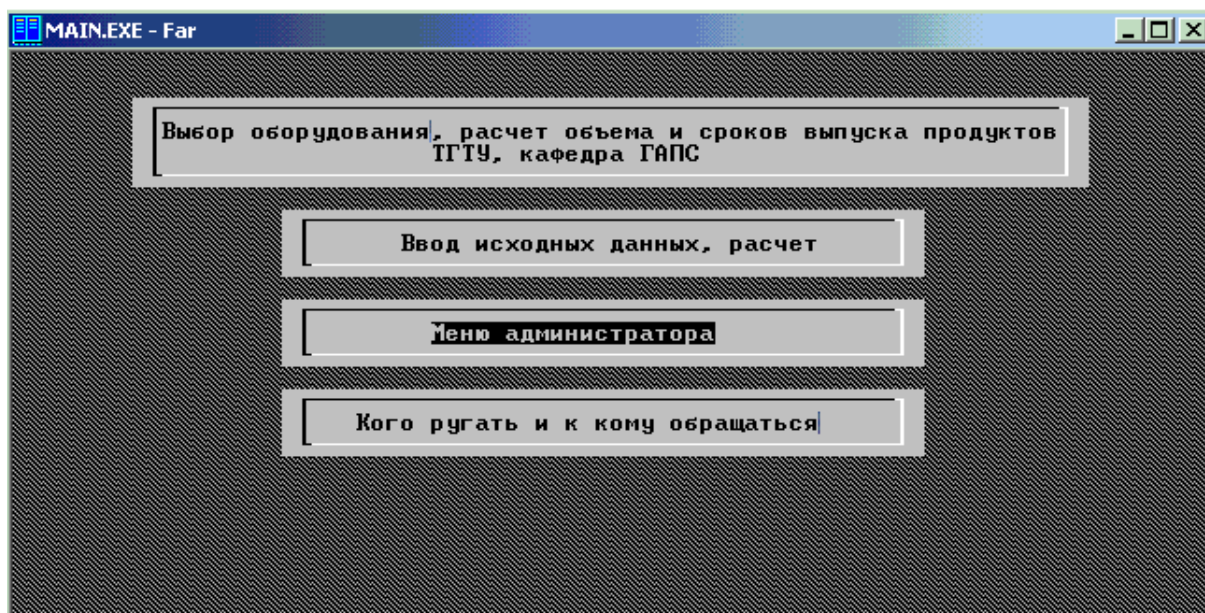


Рисунок 5.6 Главное меню программы WIBOR

При выборе пункта "Ввод исходных данных, расчет" главного меню пользователю представляется список задач, уже решенных с помощью программы, см. рисунок 5.7. Возможные действия и соответствующие клавиши перечислены в нижней строке.

При добавлении новой задачи необходимо ввести дату, наименование проекта и выбрать тип решаемой задачи. Для задачи 1 необходимо ввести заданную продолжительность выпуска продукта в сутках (T), для задачи 2 – требуемый объем выпуска продукта (Q), а для задачи 3 – значения обеих этих величин¹. Можно внести коррективы в какой-либо расчет, например, изменить тип решаемой зада-

¹ Задача 3 программы WIBOR в разделе 4 названа задачей 1, а задачи 1,2 в программе – это задача 2 раздела 4, сформулированная в двух различных вариантах.

чи, объем или продолжительность выпуска продукта. По клавише F2 производится переход к реестру стадий производства продукта, см. рисунок 5.8, где осуществляется ввод наименования каждой стадии и выбор ее основного аппарата из реестра видов оборудования.

	Наименование расчета	Объем	Срок	Зад
19.11.1998	Производство красителя сернистого черного	1260.00		1
20.11.1998	Производство АШ-кислоты(цех №8)		200.00	2
20.11.1998	Производство АШ-кислоты(цех №5)	250.00		1
20.11.1998	Производство АШ-кислоты(предв.расчет)	250.00	200.00	3
20.11.1998	Пр-во кр-ля спирторастворимого ярко-красного		25.00	2
20.11.1998	Пр-во кр-ля сернистого черного(предв.расчет)	1260.00	330.00	3
29.12.1998	Производство 1,3 фенилендиамина		330.00	2
31.12.1998	Производство 1,3 фенилендиамина(предв.расчет)	500.00	330.00	3
9.06.1999	Производство пигмента зеленого	490.00		1
9.06.1999	Производство пигмента прямого черного 2С	215.00		1
11.06.1999	Производство лака рубинового	250.00		1
11.06.1999	Производство пигмента желтого светопрочного	750.00		1
9.08.1999	Производство азокрасителя прямого черного 2С		200.00	2

F2-стадии F5-копировать Ins-добавить Del-удалить Enter-редактир Esc-выход

Рисунок 5.7 Список задач, решенных с помощью программы WIBOR

Номер стад	Наименование стадии, основной аппарат	Техн.хар
1	Расплавление метадинитробензола Емкостной реактор с перемеш. уст-вом	
2	Восстановление метадинитробензола Емкостной реактор с перемеш. уст-вом	
3	Подача на фильтрацию Вертикальная емкость с перемеш. устр-вом	
4	Очист. фильтрация метафенилендиамина Фильтр пресс	фильтрат
5	Сбор маточного раствора Вертикальная емкость без перемеш. устр-ва	
6	Вакуум-упарка метафенилендиамина Емкостной реактор с перемеш. уст-вом	
7	Сбор упаренного метафенилендиамина Вертикальная емкость без перемеш. устр-ва	
8	Вакуум-перегонка метафенилендиамина Емкостной реактор с перемеш. уст-вом	

F2-дан по стад F4-техн.хар-ки Ins-доб Enter-ред Del-удал Esc-вых F3-расчет

Рисунок 5.8 Реестр стадий производства продукта

При решении задачи 3 для любой стадии системы можно установить дополнительные требования к ее основным аппаратам (клавиша F4). Это могут быть значения или интервал значений каких-либо характеристик данного типа оборудования, см. рисунок 5.9, или принадлежность аппарата к одной из имеющихся в цехе технологических систем. При необходимости коррекции уже сформированного реестра стадий приходится изменять номера стадий, перед которыми вводятся новые.

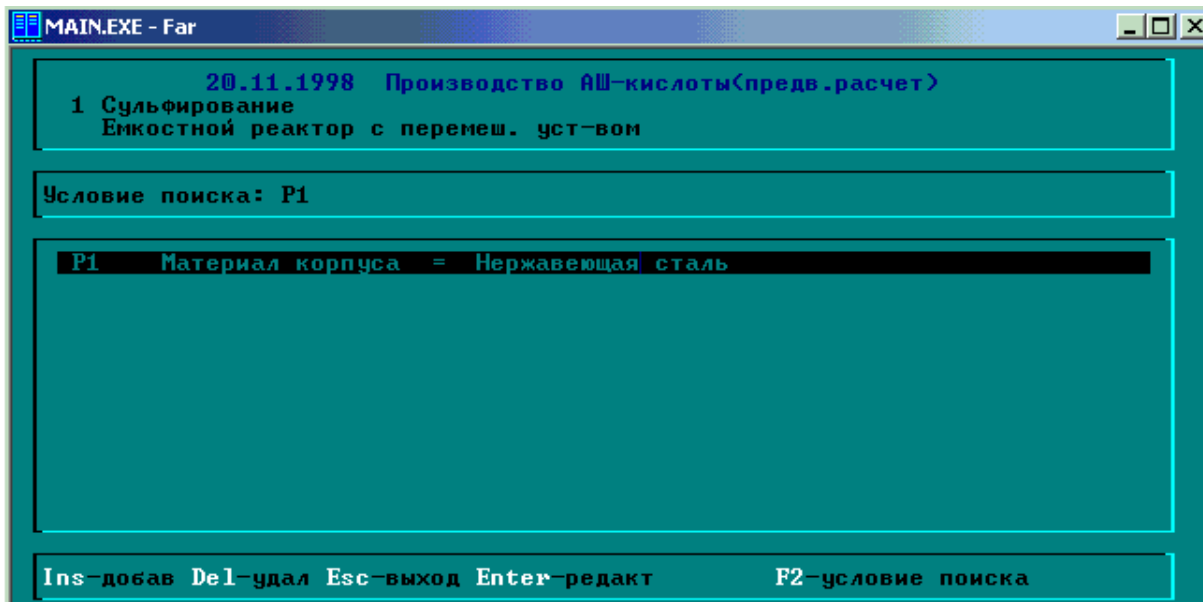


Рисунок 5.9 Ввод дополнительных требований к аппаратам стадии

Установив курсор на любую стадию сформированного реестра и нажав клавишу F2, пользователь переходит к списку характеристик стадии, который формируется в зависимости от типа основного аппарата. На рисунке 5.10 приведен список характеристик стадии, оснащаемой емкостными аппаратами. Здесь в нижней строке справа имеется окно подсказки, где указывается порядок ввода значений большинства характеристик.

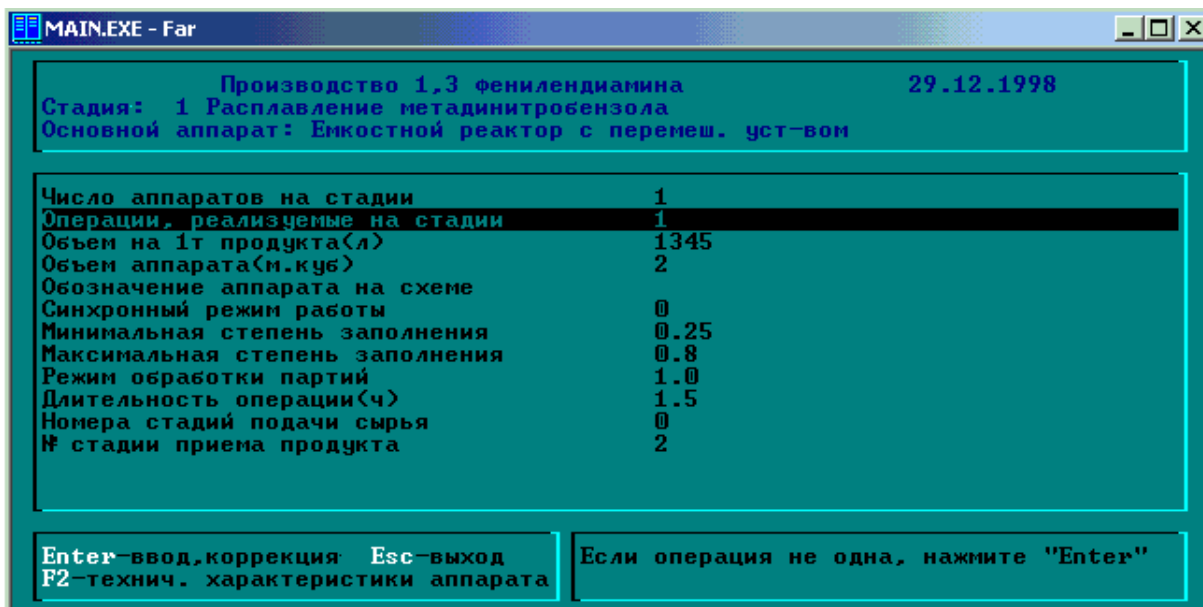


Рисунок 5.10 Список характеристик стадии

В программе предусмотрен случай, когда та или иная стадия представляет собой совокупность нескольких операций и значения материальных индексов (объем на 1 тонну) для них различны. В этой ситуации, установив курсор на строку "Операции, реализуемые на стадии" и нажав клавишу ENTER, пользователь вводит наименования операций и значения их материальных индексов.

Закончив ввод (или коррекцию) значений характеристик последней стадии выпуска продукта, пользователь возвращается к реестру стадий и нажимает клавишу F3, запуская таким образом модуль решения соответствующей задачи. Если в процессе решения возникают ситуации, в которых продолжение расчетов невозможно, программа выдает диагностические сообщения, см. рисунок 5.11, с описанием возникшей ситуации и предложениями по выходу из нее.

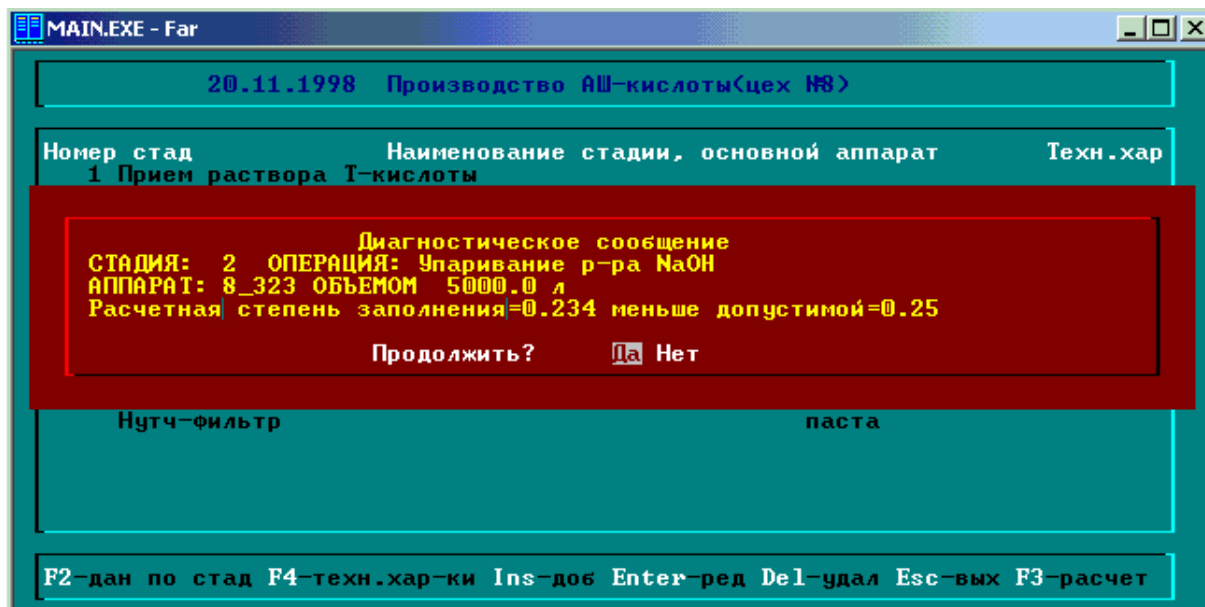


Рисунок 5.11 Выдача диагностического сообщения

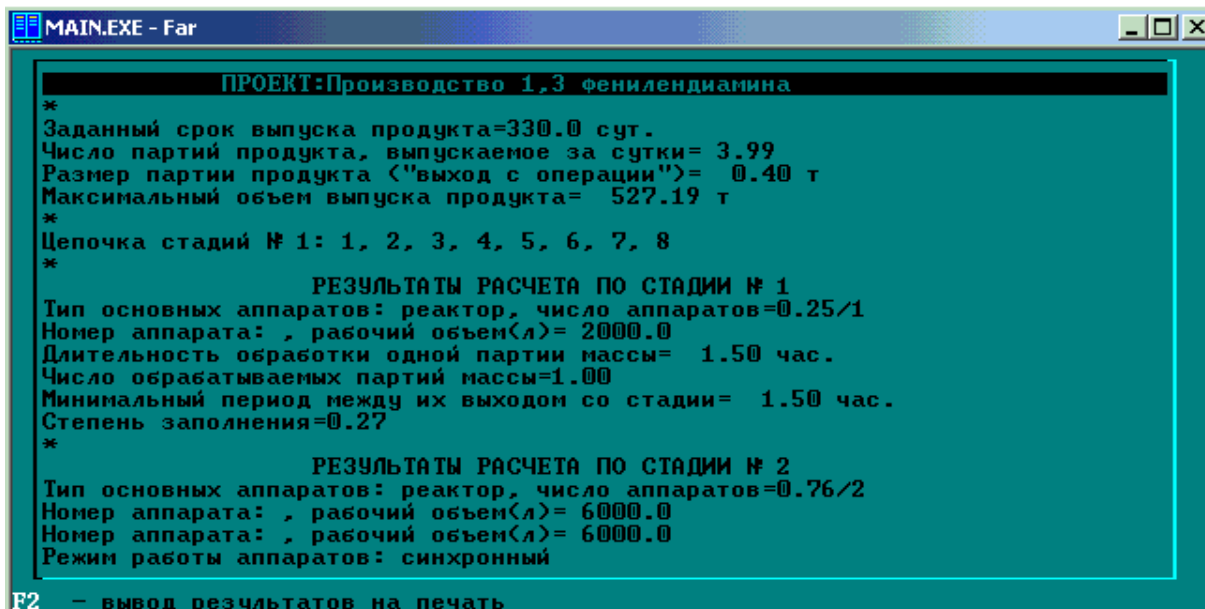


Рисунок 5.12 Результаты расчета

Если решение задачи заканчивается нормально, на экран выводятся результаты, см. рисунок 5.12. В начале отчета помещаются общие характеристики ТС (размер партии продукта и их число, выпускаемое за сутки, объем и продолжительность выпуска продукта), а также последовательности номеров стадий, входящих во все возможные "цепочки" стадий - маршруты следования партий про-

дукта по стадиям ТС. Затем следуют результаты расчета по каждой стадии. Здесь приводятся сведения о числе аппаратов на стадии и их основных размерах, способе обработки партий продукта, длительности обработки одной партии продукта и минимальном периоде между двумя последовательными разгрузками аппарата. Для емкостных аппаратов указывается степень заполнения, для фильтр-прессов, целью работы которых является получение осадка – необходимая поверхность фильтрования. Указываются стадии ТС, лимитирующие размер партии продукта, и их число, выпускаемое в течение суток (длительность цикла выпуска продукта).

Если при решении задачи 1 или задачи 2 основные размеры и обозначения аппаратов были введены для всех стадий ХТС, имеется возможность вывести результаты расчета оборудования на печать в форме, принятой в проектных организациях (клавиша F2). Если хотя бы для одной стадии размер аппарата задан не был, для нее в качестве результата расчета выводятся граничные значения основного размера аппарата. В этом случае при попытке вернуться к вводу данных по стадиям с помощью клавиши ESC, пользователю будет предложено подобрать недостающие аппараты в базе оборудования.

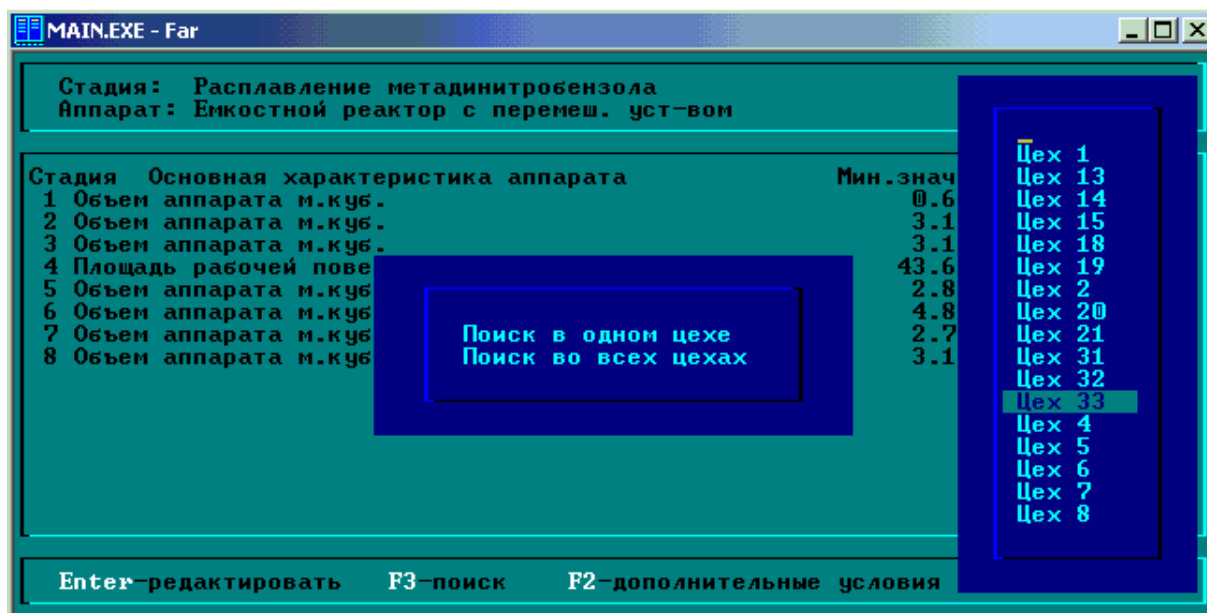


Рисунок 5.13 Выбор области поиска подходящих аппаратов

При положительном ответе автоматически формируются условия поиска аппаратов в базе по найденным в результате расчетов интервалам допустимых значений основных размеров аппаратов. Дополнительные требования к аппаратам стадий, введенные до расчета, сохраняются и могут быть скорректированы (клавиша F2). Пользователь выбирает цех, в котором предполагает обнаружить подходящие аппараты, см. рисунок 5.13, либо указывает на необходимость поиска подходящих аппаратов во всех цехах предприятия, и запускает процедуру поиска, результатом выполнения которой является перечень аппаратов, пригодных для установки на стадиях ХТС, см. рисунок 5.14. Характеристики любого выбранного аппарата выдаются по клавише F2. Отсутствие номера какой-либо стадии в колонке "Стадия", означает, что для нее не удалось подобрать подходящий аппарат.

Пользователю необходимо скорректировать требования к аппаратам этой стадии или (и) изменить условия ее реализации (изменить режим переработки партий).

Расплавление метадинитробензола
Аппарат вертикальный, цилиндрический, $V = 2.17$ м.куб.
Основная хар-ка Объем аппарата м.куб.

Стадия	Номер по схеме	Значение основн.хар-ки	Цех
1	R2301	2.166	Цех 33
2	R2401(A)	5.1	Цех 33
2	R2401(B)	5.1	Цех 33
2	R2402	5.145	Цех 33
2	R2406(A)	6.3	Цех 33
2	R2406(B)	6.3	Цех 33
2	R2801(A)	6.2	Цех 33
2	R2801(B)	6.2	Цех 33
2	R2904	3.7	Цех 33
2	R2906	6.3	Цех 33
3	D2404(A)	6.3	Цех 33
3	D2461	6.3	Цех 33
3	D2803(B)	5.8	Цех 33

F2 – все характеристики

Рисунок 5.14 Аппараты, пригодные для установки на стадиях

После выбора конкретных аппаратов для всех стадий системы, где они не были определены предварительно (при решении задачи 3 или задач 1,2 с неполным комплектом оборудования), необходимо вернуться к процедуре коррекции исходных данных: ввести размеры и обозначения выбранных аппаратов, вновь выполнить расчет и, при необходимости, вывести его результаты на печать.

В разделе 6 представлены варианты заданий, которые студентам предлагается выполнить с помощью программ BAZAOBOR и WIBOR при изучении методики расчеа оборудования ТС перепрофилируемого МХП.

6 ЗАДАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ОБОРУДОВАНИЯ ТС МХП

Задание 1: с использованием системы VAZAОВОР, выяснить, имеются ли в парке оборудования указанных технологических систем Производства дисперсных красителей ОАО "Пигмент" основные аппараты, пригодные для реализации всех стадий синтеза предложенного продукта.

Задание 2: с использованием системы WIBOR, подобрать основную аппаратуру указанных технологических систем Производства дисперсных красителей Тамбовского ОАО "Пигмент", способную обеспечить выпуск продукта в заданном количестве за указанный срок.

Порядок выполнения задания:

1. Решить для процесса синтеза предлагаемого продукта задачу определения аппаратного оформления ТС (задачу 3).

2. Подобрать для каждой стадии синтеза продукта подходящий основной аппарат одной из указанных ТС ПДК, используя возможности изменения размера партии продукта от стадии к стадии системы, синхронной обработки равных долей партии в параллельных аппаратах.

3. Решить для выбранного АО стадий синтеза продукта задачу определения максимального объема его выпуска за заданный срок (задачу 2).

4. Построить график Гантта для двух полных циклов функционирования оборудования ТС.

Задание 3: с использованием системы WIBOR обеспечить реализацию стадий синтеза еще одного продукта с помощью АО ТС, выбранного при выполнении задания 2, определить минимальный срок выпуска второго продукта в заданном объеме (решить задачу 1)

Вариант №1.

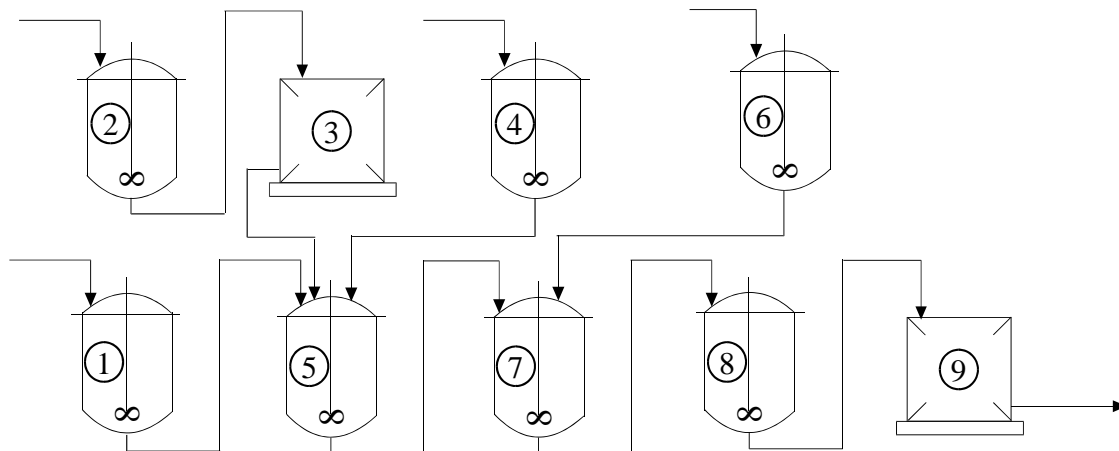
Продукт – *краситель дисперсный коричневый (основание).*

Объем выпуска продукта – *75 тонн.*

Срок выпуска продукта – *110 суток* при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – *ТС №3000, 5000 цеха №31.*

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заплн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Приготовление НЗС-кислоты	Емкостной реактор	Нерж. сталь, якорн. меш., рубашка, $n \geq 25$ 1/мин	$v_1=3391$	8.25	0.35-0.75	-	-	-
2	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, проп. меш., $n \geq 750$ 1/мин	$v_5=6957$	9.67	0.25-0.85	-	-	-
3	Очистная фильтрация	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Полипропилен, произв. ≥ 10 м ³ /час	$v_6=6812$	-	-	6.27 л/м ² ·ч	50	-
4	Приготовление диазосоединения	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 40$ 1/мин	$v_2=1994$	3.25	0.35-0.75	-	-	-
5	Диазотирование	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 35$ 1/мин	$v_3=5573$	15.75	0.35-0.75	-	-	-
6	Суспензирование	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, фрез. меш., рубашка, $n \geq 700$ 1/мин	$v_4=6153$	11.33	0.35-0.75	-	-	-
7	Азосочетание	Емкостной реактор	Угл. сталь, эбонит, лоп. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_7=19473$	18.67	0.35-0.75	-	-	-
8	Выделение красителя	Емкостной реактор	Угл. сталь, эбонит, лоп. меш., $n \geq 15$ 1/мин	$v_8=36278$	12.17	0.35-0.75	-	-	-
9	Фильтрация красителя	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Полипропилен, произв. ≥ 10 м ³ /час	$m_8=3105$ $v_8=3714$	-	-	1.9 кг/м ² ·ч	50	45

Вариант №2.

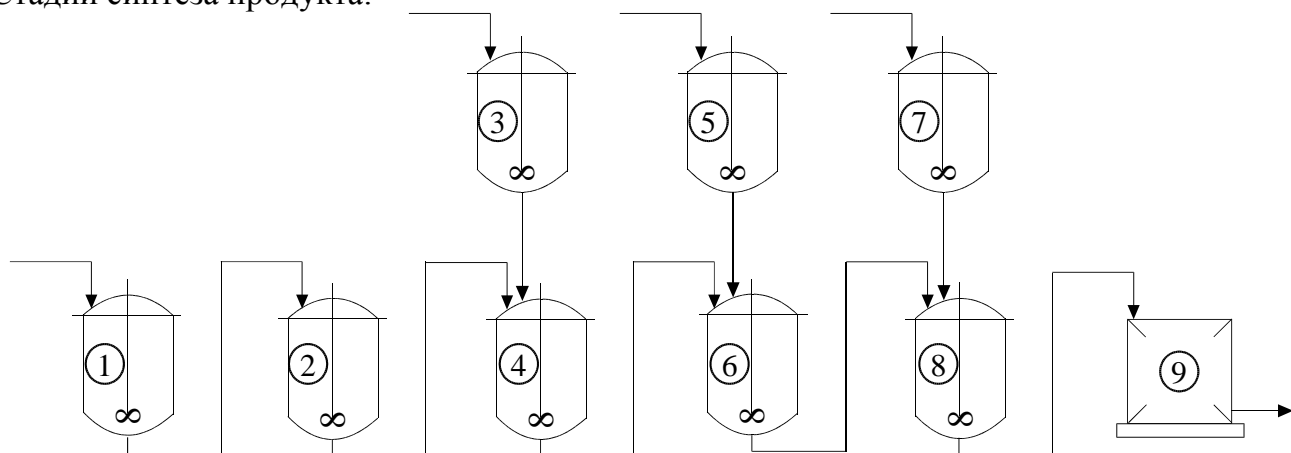
Продукт – *краситель спирторастворимый красный.*

Объем выпуска продукта – *17 тонн.*

Срок выпуска продукта – *25 суток* при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – *ТС №2400, 2800 цеха №33.*

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ ста-дии	Реали-зуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Мате-риальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заполн. (min-max)	Удель-ная произв.	Про-цент осн. опер.	Тол-щина осад-ка, мм
1	Приготов-ление суспензии	Емкость с перемеш. устр-вом	Чугун/угл.ст. эмаль, якорн. меш.	$v_1=5297.7$	4.33	0.3-0.8	-	-	-
2	Диазоти-рование	Емкост-ной реак-тор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $t_{раб} \geq 100^\circ\text{C}$	$v_2=5444$	4.95	0.3-0.8	-	-	-
3	Растворе-ние	Емкость с перемеш. устр-вом	Чугун/угл.ст. эмаль, якорн. меш	$v_3=3769$	6.0	0.3-0.8	-	-	-
4	Азосоче-тание	Емкост-ной реак-тор	Чугун, рубашка, якорн. меш., $p_{раб} \geq 0.3\text{МПа}$	$v_4=11192$	7.42	0.3-0.7	-	-	-
5	Растворе-ние	Емкост-ной реак-тор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 50$ л/мин	$v_5=1220$	6.17	0.3-0.8	-	-	-
6	Получение красителя	Емкост-ной реак-тор	Уг.ст., эмаль, рубашка, лопаст. меш., $t_{раб} \geq 200^\circ\text{C}$	$v_6=16304$	13.67	0.3-0.75	-	-	-
7	Смешение растворов	Емкост-ной реак-тор	Уг.ст., кирп., змеевик, якорн. меш., $t_{раб} \geq 100^\circ\text{C}$	$v_7=8471$	12.0	0.3-0.8	-	-	-
8	Выделение красителя	Емкост-ной реак-тор	Уг.ст., кирп., змеевик, якорн. меш., $p_{раб} \geq 0.6\text{МПа}$	$v_8=33084$	6.67	0.3-0.8	-	-	-
9	Фильтра-ция	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Чугун, $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полипропи-лен	$m_9=1005$ $v_9=2269$	-	-	0.9 кг/м ² ·ч	75	25

Вариант №3.

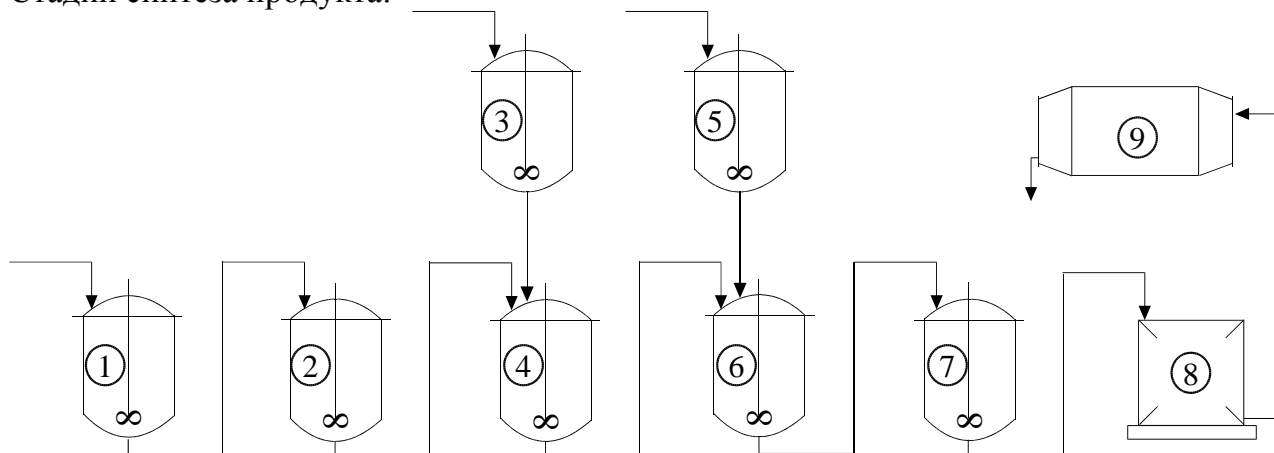
Продукт – *краситель прямой коричневый.*

Объем выпуска продукта – *60 тонн.*

Срок выпуска продукта – *125 суток* при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – *ТС №2000, 2200, 2700 цеха №32.*

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заполн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, проп. меш., $n \geq 150$ 1/мин	$v_1=4180$	2.7	0.3-0.8	-	-	-
2	Диазотирование	Емкостной реактор	Титан, рубашка, яккорн. меш., $n \geq 40$ 1/мин	$v_2=6157$	5.1	0.35-0.75	-	-	-
3	Пригот. азосоставляющей	Емкость с перемеш. устр-вом	Угл. сталь, эбонит, турб. меш., $n \geq 130$ 1/мин	$v_3=2873$	3.5	0.3-0.8	-	-	-
4	Азосочетание	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, лоп. меш., $t_{\text{раб}} \geq 200$ °C	$v_4=14185$	9.9	0.35-0.75	-	-	-
5	Смешение растворов	Емкость с перемеш. устр-вом	Уг.ст., эбонит, проп. меш., $n \geq 130$ 1/мин	$v_5=7271$	3.2	0.3-0.8	-	-	-
6	Выделение красителя	Емкостной реактор	Нерж. сталь, рубашка, яккорн. меш., $n \geq 40$ 1/мин	$v_6=14266$	11.3	0.3-0.8	-	-	-
7	Подача на фильтр	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, турб. меш., $n \geq 150$ 1/мин	$v_7=14266$	1.5	0.3-0.8	-	-	-
8	Фильтрация красителя	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Чугун(СЧ18) $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полипропилен	$m_8=836$ $v_8=2611$	-	-	0.55 кг/м ² ·ч	70	45
9	Сушка красителя	Сушилка роторная вакуумная	Нерж. сталь, $t_{\text{раб}} \geq 65$ °C, $p_{\text{раб}} \leq 0.1$ МПа	$m_9=3300$ $v_9=3800$	-	0-0.5	3.0 кг/м ² ·ч	80	-

Вариант №4.

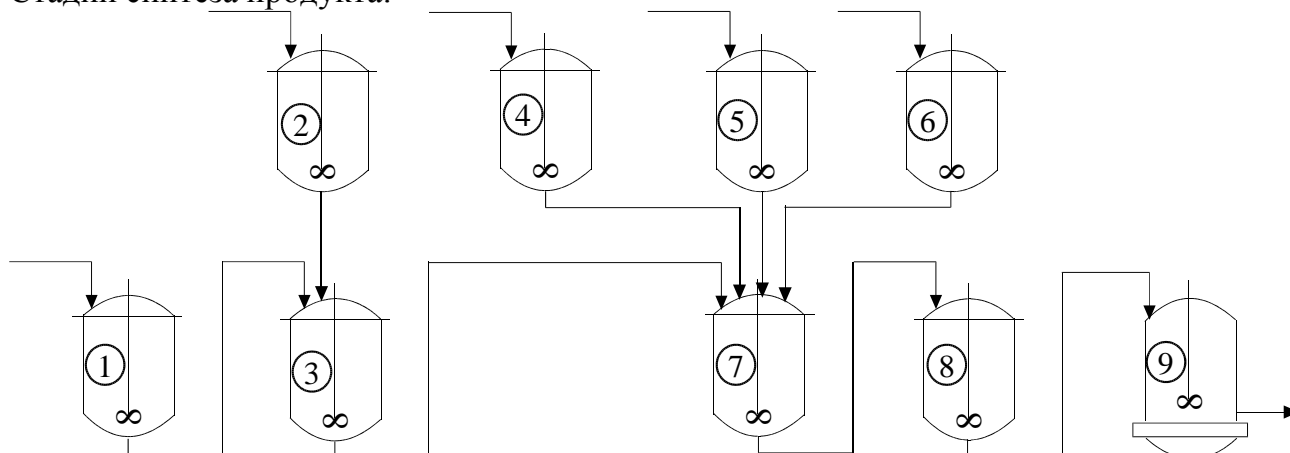
Продукт – лак рубиновый.

Объем выпуска продукта – 150 тонн.

Срок выпуска продукта – 300 суток при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – ТС №2600, 2700 цеха №32.

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заполн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Растворение сульфокислоты	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_1=4890$	2.33	0.3-0.8	-	-	-
2	Приготовление диазокомпонента	Емкость с пере-меш. устр-вом	Угл. сталь, эбонит, турб. меш., $n \geq 130$ 1/мин	$v_2=1176$	3.17	0.3-0.8	-	-	-
3	Диазотирование	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, лопаст. меш., $n \geq 90$ 1/мин	$v_3=9526$	4.17	0.35-0.75	-	-	-
4	Растворение таллового мыла	Емкостной реактор	Рубашка, $t_{\text{раб}} \geq 50$ °С, турб. меш., $n \geq 200$ 1/мин	$v_4=3375$	2.17	0.3-0.8	-	-	-
5	Растворение канифольного мыла	Емкостной реактор	Уг.ст., монель, рубаш, якорн. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_5=12223$	32.75	0.3-0.8	-	-	-
6	Растворение CaCl	Емкостной реактор	Нерж. сталь, рубашка, якорн. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_6=5379$	3.08	0.3-0.8	-	-	-
7	Получение лака	Емкостной реактор	Уг.ст., эбонит лопаст. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_7=36577$	9.41	0.35-0.75	-	-	-
8	Подача суспензии лака на фильтр	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, 2 проп. меш., $n \geq 125$ 1/мин	$v_8=36577$	1.2	0.25-0.85	-	-	-
9	Очистная фильтрация лака	Друк-фильтр	Угл. сталь, эбонит, ф.плитка	$v_9=35470$	-	-	78 л/м ² ·ч	85	-

Вариант №5.

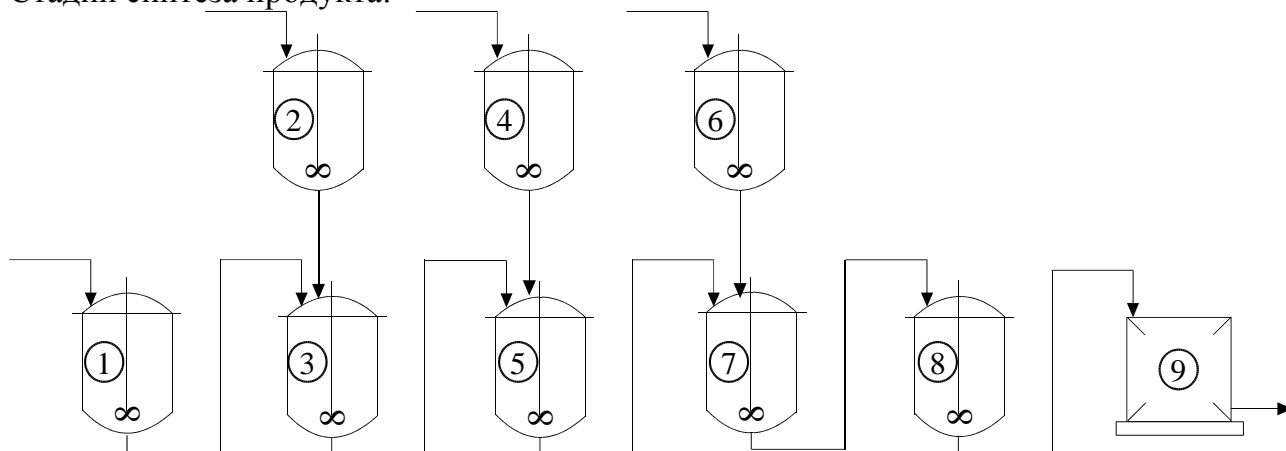
Продукт – *краситель кислотный черный.*

Объем выпуска продукта – *50 тонн.*

Срок выпуска продукта – *30 суток* при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – *ТС №2200, 2500 цеха №32.*

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ ста-дии	Реали-зуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Мате-риальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заполн. (min-max)	Удель-ная произв.	Про-цент осн. опер.	Тол-щина осад-ка, мм
1	Растворе-ние	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, турб. меш., $n \geq 130$ 1/мин	$v_1=1324$	5.5	0.3-0.8	-	-	-
2	Приготовле-ние диа-зоком-понента	Емкост-ной реак-тор	Нерж. сталь, рамная меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_2=3085$	4.2	0.3-0.8	-	-	-
3	Диазоти-рование	Емкост-ной реак-тор	Нерж. сталь, рубашка, турб. меш., $n \geq 130$ 1/мин	$v_3=4653$	3.7	0.35-0.75	-	-	-
4	Пригот. азосостав-ляющей	Емкост-ной реак-тор	Угл. сталь, турб. меш., $n \geq 200$ 1/мин	$v_4=1637$	7.0	0.3-0.8	-	-	-
5	Азосоче-тание	Емкост-ной реак-тор	Угл. сталь, рамная меш., $n \geq 200$ 1/мин	$v_5=5240$	20.5	0.35-0.75	-	-	-
6	Смешение растворов	Емкость с перемеш. устр-вом	Угл. сталь, эбонит, проп. меш., $n \geq 150$ 1/мин	$v_6=615$	4.0	0.3-0.8	-	-	-
7	Выделение красителя	Емкост-ной реак-тор	Угл. сталь, эбонит, якорн. меш., $n \geq 15$ 1/мин	$v_7=8440$	9.2	0.3-0.8	-	-	-
8	Подача суспензии красителя на фильтр	Емкость с перемеш. устр-вом	Угл. сталь, резина, проп. меш., $n \geq 100$ 1/мин	$v_8=8440$	1.0	0.25-0.85	-	-	-
9	Фильтра-ция краси-теля	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Чугун(СЧ18) $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полипропи-лен	$m_9=590$ $v_9=2223$	-	-	1.0 кг/м ² ·ч	70	45

Вариант №6.

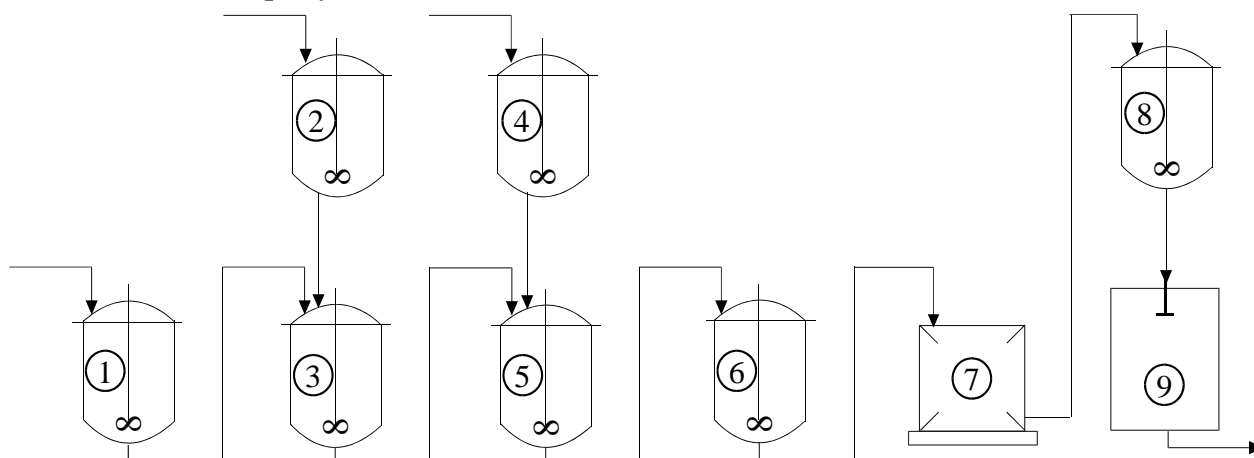
Продукт – краситель дисперсный темно-синий 'З' полиэфирный.

Объем выпуска продукта – 40 тонн.

Срок выпуска продукта – 90 суток при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – ТС №3000, 5000 цеха №31.

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заполн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Приготовление НЗС-кислоты	Емкостной реактор	Нерж. сталь, якорн. меш., рубашка, $n \geq 25$ 1/мин	$v_1=1736$	10.67	0.35-0.75	-	-	-
2	Суспензирование	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, фрез. меш., рубашка, $n \geq 700$ 1/мин	$v_2=1044$	14.25	0.35-0.75	-	-	-
3	Диазотирование	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 35$ 1/мин	$v_3=3825$	18.25	0.35-0.75	-	-	-
4	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Уг.ст., эбон., якорн. меш., $n \geq 25$ 1/мин	$v_4=8772$	6.17	0.25-0.85	-	-	-
5	Азосочетание	Емкостной реактор	Угл. сталь, эбонит, лоп. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_5=16923$	16.25	0.35-0.75	-	-	-
6	Выделение красителя	Емкостной реактор	Угл. сталь, эбонит, лоп. меш., $n \geq 15$ 1/мин	$v_6=34300$	11.0	0.35-0.75	-	-	-
7	Фильтрация красителя	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Полипропилен, произв. ≥ 10 м ³ /час	$m_8=3147$ $v_8=4545$	-	-	0.7 кг/м ² ·ч	50	45
8	Репульпация	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, лоп. меш., нар. змеевик, $n \geq 100$ 1/мин	$v_7=10568$	5.6	0.25-0.85	-	-	-
9	Сушка красителя	Сушилка с распыл. головкой	Нерж. сталь, произв. ≥ 150 м ³ /час	$m_9=1000$	-	-	0.25 кг/м ³ ·ч	95	-

Вариант №7.

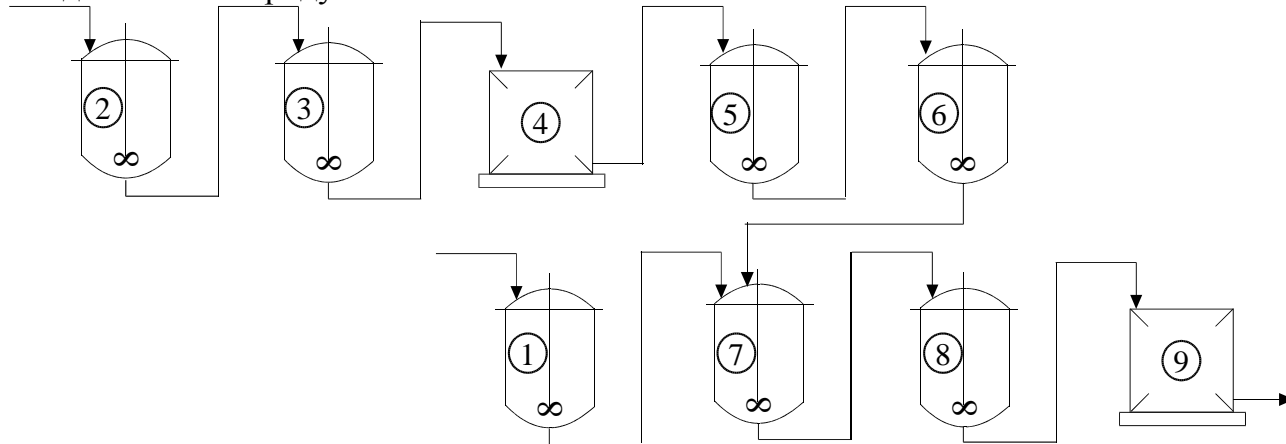
Продукт – пигмент прямой черный.

Объем выпуска продукта – 215 тонн.

Срок выпуска продукта – 135 суток при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – ТС №2200, 2700 цеха №32.

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коеф. заполн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Растворение	Емкостной реактор	Рубашка, турб. меш., $n \geq 200$ 1/мин	$v_1=550$	10.7	0.3-0.8	-	-	-
2	Растворение АФП-кислоты	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь,, турб. меш., $n \geq 130$ 1/мин	$v_2=6064$	3.75	0.3-0.8	-	-	-
3	Диазотирование	Емкостной реактор	Угл. сталь, монель-400, рубашка, якорн. меш.	$v_3=5241$	5.33	0.35-0.75	-	-	-
4	Очистная фильтрация диазосоединения	Фильтр-пресс рамный/камерн	Чугун(СЧ18) $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полипропилен	$v_4=5241$	-	-	32.8 л/м ² ·ч	60	-
5	Прием раствора диазосоединения	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, 2 проп. меш., $n \geq 125$ 1/мин	$v_5=5241$	1.0	0.25-0.85	-	-	-
6	Диазотирование и сочетание	Емкостной реактор	Угл. сталь, эбонит, лоп. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_6=12903$	13.0	0.35-0.75	-	-	-
7	Выделение красителя	Емкостной реактор	Нерж. сталь, плитка, змеевик, $n \geq 100$ 1/мин	$v_7=20967$	14.5	0.35-0.75	-	-	-
8	Подача суспензии красителя на фильтр	Емкость с перемеш. устр-вом	Угл. сталь, резина, проп. меш., $n \geq 100$ 1/мин	$v_8=20967$	2.67	0.25-0.85	-	-	-
9	Фильтрация красителя	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Чугун(СЧ18) $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полипропилен	$m_9=1038$ $v_9=1154$	-	-	1.8 кг/м ² ·ч	50	45

Вариант №8.

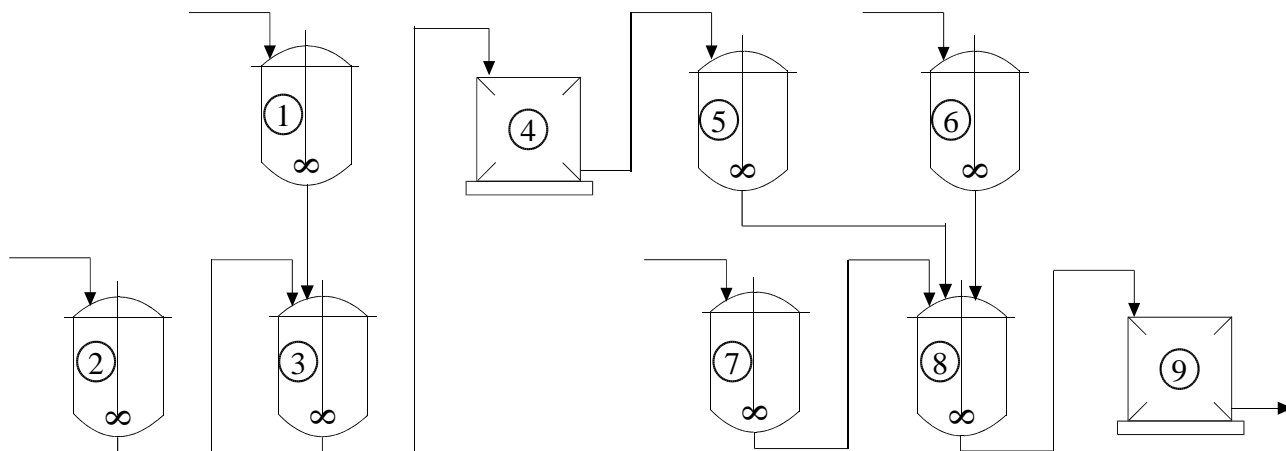
Продукт – пигмент зеленый.

Объем выпуска продукта – 240 тонн.

Срок выпуска продукта – 235 суток при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – ТС №2400, 2900 цеха №33.

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заплн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Растворение бета-нафтола	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 45$ 1/мин	$v_1=1076$	6.8	0.3-0.8	-	-	-
2	Разбавление серной кислоты	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_2=2430$	4.33	0.3-0.8	-	-	-
3	Получение нитрозобетанафтола	Емкостной реактор	Угл. сталь, плитка, змеевик, рамная меш.	$v_3=14916$	11.9	0.35-0.75	-	-	-
4	Очистная фильтрация	Фильтр-пресс рамный/камерн	Полипроп., $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полотно	$v_4=14916$	-	-	57.0 л/м ² ·ч	65	-
5	Прием отфильтрованного раствора	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, змеевик(нар), проп. меш., $n \geq 125$ 1/мин	$v_5=14900$	1.2	0.25-0.85	-	-	-
6	Растворение купороса	Емкостной реактор	Чугун, рубашка, якорн. меш. $t_{\text{раб}} \geq 150$ °С,	$v_6=7570$	2.8	0.3-0.8	-	-	-
7	Растворение соды	Емкостной реактор	Нерж. сталь, руб. и змеев., фрез. меш.	$v_7=13628$	4.0	0.4-0.7	-	-	-
8	Получение пигмента	Емкостной реактор	Угл. сталь, плитка, змеевик, рамная меш.	$v_8=28271$	7.5	0.35-0.75	-	-	-
9	Фильтрация пигмента	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Чугун, $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полипропилен	$m_9=1070$ $v_9=1442$	-	-	1.41 кг/м ² ·ч	50	25

Вариант №9.

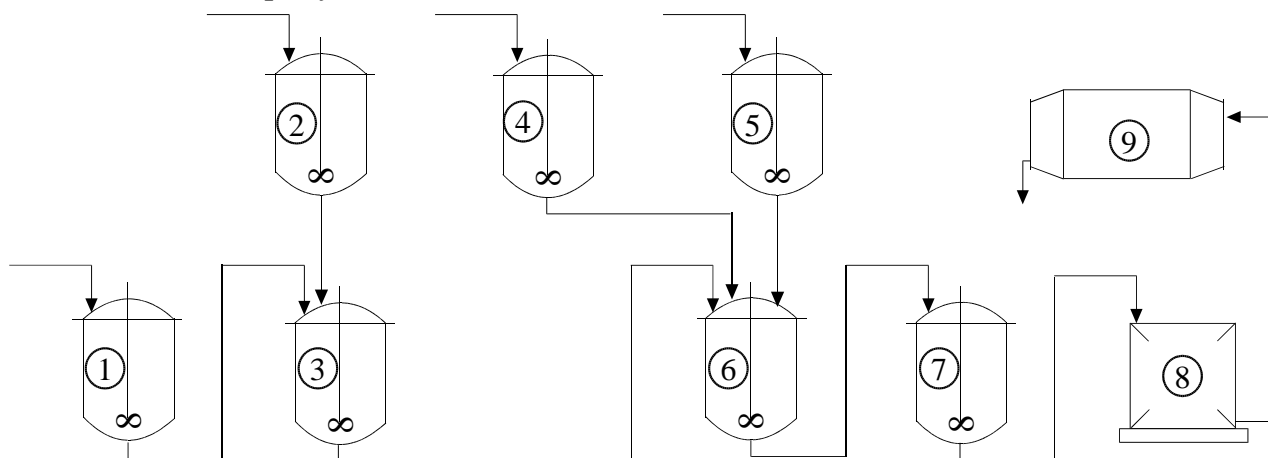
Продукт – краситель активный алый.

Объем выпуска продукта – 45 тонн.

Срок выпуска продукта – 50 суток при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – ТС №2000, 2500, 2700 цеха №32.

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заполн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, 2 проп. меш., $n \geq 125$ 1/мин	$v_1=13380$	5.0	0.25-0.85	-	-	-
2	Приготовление диазокомпонента	Емкостной реактор	Рубашка, турб. меш., $n \geq 200$ 1/мин	$v_2=2124$	5.17	0.3-0.8	-	-	-
3	Диазотирование	Емкостной реактор	Нерж. сталь, рубашка, турб. меш., $n \geq 125$ 1/мин	$v_3=9750$	11.33	0.35-0.75	-	-	-
4	Ацилирование	Емкостной реактор	Нерж. сталь, рубашка, рамная меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_4=6250$	10.77	0.3-0.8	-	-	-
5	Приготовление азосоставляющей	Емкостной реактор	Рубашка, турб. меш., $n \geq 200$ 1/мин	$v_5=935$	4.5	0.3-0.8	-	-	-
6	Азосочетание	Емкостной реактор	Нерж. сталь, плитка, змеевик, $n \geq 120$ 1/мин	$v_6=13700$	4.0	0.35-0.75	-	-	-
7	Выделение красителя	Емкостной реактор	Угл. сталь, эбонит, лоп. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_7=16500$	9.0	0.3-0.8	-	-	-
8	Фильтрация красителя	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Чугун(СЧ18) $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полипропилен	$m_8=1070$ $v_8=1323$	-	-	1.2 кг/м ² ·ч	60	45
9	Сушка красителя	Сушилка роторная вакуумная	Нерж. сталь, $t_{\text{раб}} \geq 65$ °С, $p_{\text{раб}} \leq 0.1$ МПа	$m_9=394$ $v_9=1323$	-	0-0.5	1.6 кг/м ² ·ч	75	-

Вариант №10.

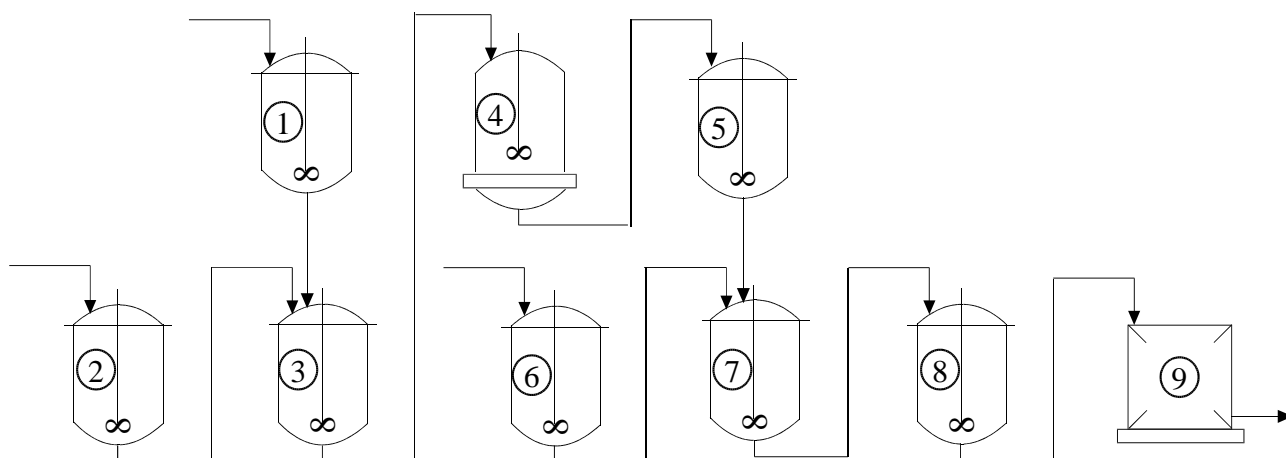
Продукт – пигмент желтый светопрочный.

Объем выпуска продукта – 250 тонн.

Срок выпуска продукта – 200 суток при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – ТС №2600, 2700 цеха №32.

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заплн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Приготовление суспензии	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, 2 проп. меш., $n \geq 125$ 1/мин	$v_1=16078$	6.0	0.3-0.8	-	-	-
2	Приготовление диазокомпонента	Емкостной реактор	Рубашка, турб. меш., $n \geq 200$ 1/мин	$v_2=3006$	3.17	0.3-0.8	-	-	-
3	Диазотирование	Емкостной реактор	Уг. ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 45$ 1/мин	$v_3=4181$	7.33	0.35-0.85	-	-	-
4	Очистная фильтрация диазосоединения	Друк-фильтр	Угл. сталь, эбонит, ф. плитка	$v_4=4181$	-	-	24.75 л/м ² ·ч	45	-
5	Прием раствора диазосоединения	Емкость с перемеш. устр-вом	Угл. сталь, эбонит, турб. меш., $n \geq 130$ 1/мин	$v_5=4180$	0.5	0.25-0.85	-	-	-
6	Приготовление азосоставляющей	Емкостной реактор	Рубашка, турб. меш., $n \geq 200$ 1/мин	$v_6=1390$	3.5	0.35-0.75	-	-	-
7	Азосочетание	Емкостной реактор	Угл. сталь, монель-400, рубашка, якорн. меш.	$v_7=11302$	7.9	0.35-0.75	-	-	-
8	Подача суспензии красителя на фильтр	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, 2 проп. меш., $n \geq 125$ 1/мин	$v_8=11302$	2.5	0.25-0.85	-	-	-
9	Фильтрация красителя	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Чугун(СЧ18) $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полипропилен	$m_9=1115$ $v_9=2679$	-	-	1.6 кг/м ² ·ч	75	45

Вариант №11.

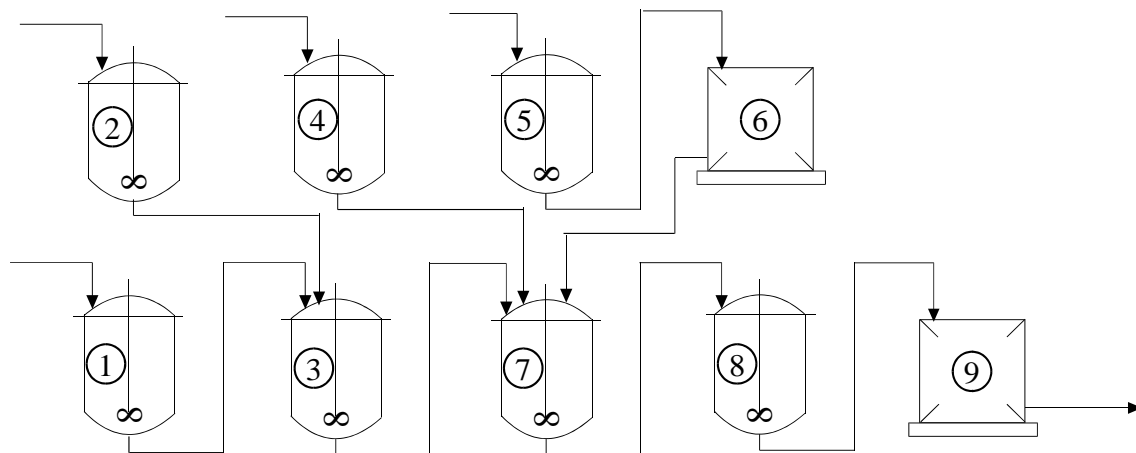
Продукт – *краситель дисперсный желтый (основание).*

Объем выпуска продукта – *60 тонн.*

Срок выпуска продукта – *130 суток* при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – *ТС №3000, 5000 цеха №31.*

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заплн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Приготовление НЗС-кислоты	Емкостной реактор	Нерж. сталь, якорн. меш., рубашка, $n \geq 25$ 1/мин	$v_1=7071$	9.17	0.35-0.75	-	-	-
2	Приготовление диазосоединения	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 40$ 1/мин	$v_2=3444$	4.75	0.35-0.75	-	-	-
3	Диазотирование	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 35$ 1/мин	$v_3=6253$	20.5	0.35-0.75	-	-	-
4	Суспензирование	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, фрез. меш., рубашка, $n \geq 700$ 1/мин	$v_4=1253$	12.67	0.35-0.75	-	-	-
5	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, лопаст. меш., $n \geq 75$ 1/мин	$v_5=17827$	8.33	0.25-0.85	-	-	-
6	Очистная фильтрация	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Полипропилен, произв. ≥ 10 м ³ /час	$v_6=17742$	-	-	10.7 л/м ² ·ч	50	-
7	Азосочетание	Емкостной реактор	Угл. сталь, эбонит, лоп. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_7=20937$	18.17	0.35-0.75	-	-	-
8	Выделение красителя	Емкостной реактор	Угл. сталь, эбонит, лоп. меш., $n \geq 15$ 1/мин	$v_8=38750$	10.07	0.35-0.75	-	-	-
9	Фильтрация красителя	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Полипропилен, произв. ≥ 10 м ³ /час	$m_8=2917$ $v_8=3554$	-	-	0.85 кг/м ² ·ч	50	45

Вариант №12.

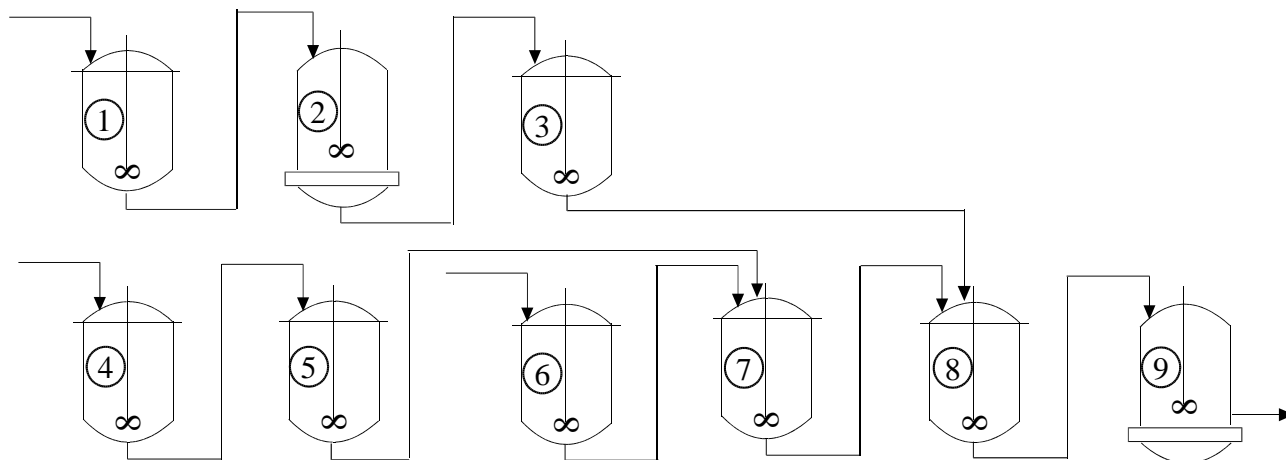
Продукт – *краситель активный красный.*

Объем выпуска продукта – *100 тонн.*

Срок выпуска продукта – *50 суток* при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – *ТС №2400, 2800 цеха №33.*

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заплн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Ацилирование	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, лоп. меш., $t_{раб} \geq 200 \text{ }^\circ\text{C}$	$v_1=6800$	6.9	0.3-0.8	-	-	-
2	Очистная фильтрация	Друк-фильтр	Угл. сталь, $\Delta p \geq 0.3 \text{ МПа}$, полипроп., лоп. меш.	$v_2=6800$	-	-	150 л/м ² ·ч	60	-
3	Прием отфильтрованного раствора	Емкость с перемеш. устр-вом	Угл. сталь, плитка, рамная меш., $n \geq 30 \text{ 1/мин}$	$v_3=6800$	1.5	0.25-0.85	-	-	-
4	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш.	$v_4=1320$	4.17	0.25-0.85	-	-	-
5	Диазотирование	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 45 \text{ 1/мин}$	$v_5=3180$	4.67	0.35-0.75	-	-	-
6	Приготовление азосоставляющей	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, проп. меш., $n \geq 100 \text{ 1/мин}$	$v_6=1450$	4.33	0.3-0.8	-	-	-
7	Азосочетание	Емкостной реактор	Уг.ст., кирп., змеевик, якорн. меш., $n \geq 15 \text{ 1/мин}$	$v_7=10350$	5.83	0.35-0.75	-	-	-
8	Выделение красителя	Емкостной реактор	Уг.ст., плит., змеевик, рамная меш., $n \geq 30 \text{ 1/мин}$	$v_8=11500$	8.0	0.3-0.8	-	-	-
9	Фильтрация красителя	Друк-фильтр	Уг.ст., плит., $\Delta p \geq 0.3 \text{ МПа}$, ф.плетка	$m_9=523$	-	-	6.2 кг/м ² ·ч	50	-

Вариант №13.

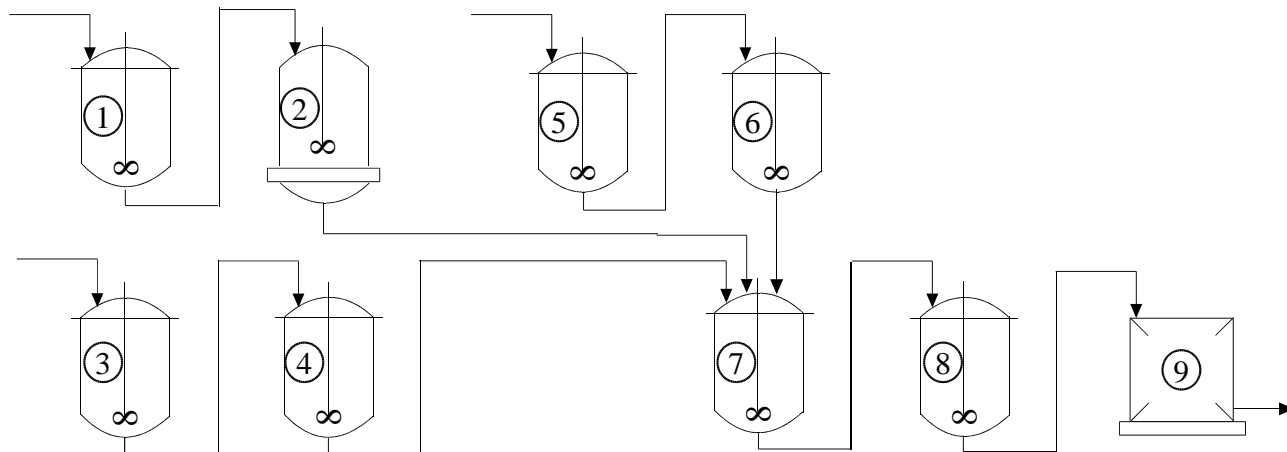
Продукт – азокраситель прямой черный 2С.

Объем выпуска продукта – 500 тонн.

Срок выпуска продукта – 200 суток при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – ТС №2400, 2900 цеха №33.

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппар.	Хар-ки осн. аппар.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коефф. заполн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Приготовление азосоставляющей	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 45$ 1/мин	$v_1=740$	3.25	0.3-0.8	-	-	-
2	Очистная фильтрация	Друк-фильтр	Уг.ст., плит., $\Delta p \geq 0.3$ МПа, полипроп.	$v_2=740$	-	-	20.0 л/м ² ·ч	75	-
3	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, рубашка, фрез. меш.	$v_3=1250$	3.83	0.25-0.85	-	-	-
4	Диазотирование	Емкостной реактор	Нерж. сталь, рубашка, турб. меш., $t_{\text{раб}} \geq 70$ °С	$v_4=1440$	4.1	0.35-0.75	-	-	-
5	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Угл. сталь, якорн. меш., $n \geq 45$ 1/мин	$v_5=380$	2.0	0.25-0.85	-	-	-
6	Приготовление азосоставляющей	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, проп. меш., $n \geq 100$ 1/мин	$v_6=780$	7.0	0.3-0.8	-	-	-
7	Азосочетание	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_7=2240$	6.7	0.35-0.75	-	-	-
8	Выделение красителя	Емкостной реактор	Нерж. сталь, руб. и змеев., фрез. меш.	$v_8=5600$	3.17	0.3-0.8	-	-	-
9	Фильтрация красителя	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Чугун, $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полипропилен	$m_9=292$ $v_9=927$	-	-	1.9 кг/м ² ·ч	50	25

Вариант №14.

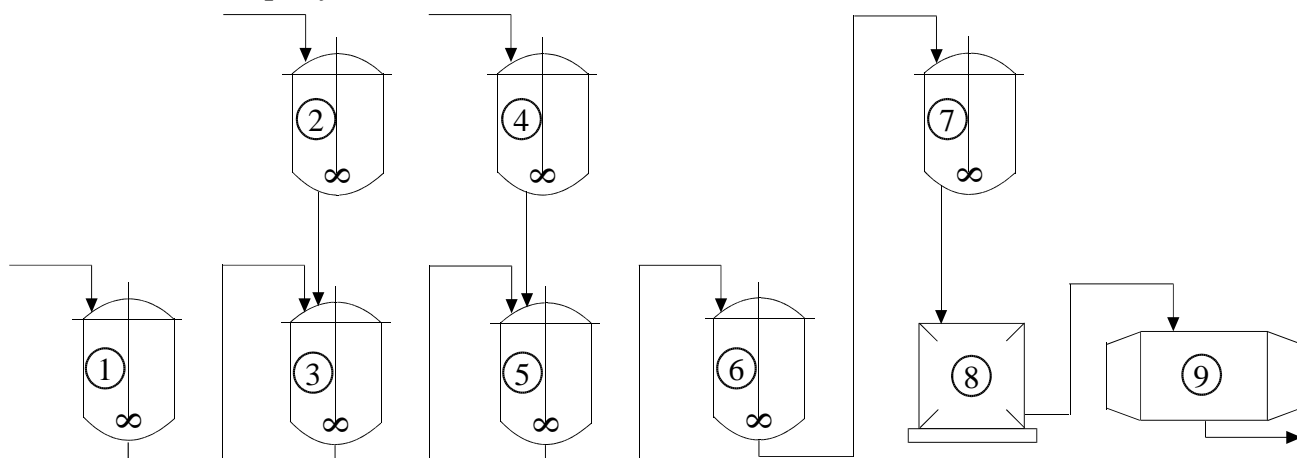
Продукт – краситель спирторастворимый желтый 'З'.

Объем выпуска продукта – 40 тонн.

Срок выпуска продукта – 60 суток при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – ТС №2000, 2200, 2700 цеха №32.

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заполн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Суспензирование	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, проп. меш., $n \geq 125$ 1/мин	$v_1=7039.3$	4.0	0.3-0.8	-	-	-
2	Пригот. диазосоставляющей	Емкостной реактор	Угл. сталь, эмаль, лоп. меш., $n \geq 100$ 1/мин	$v_2=7667$	6.0	0.35-0.75	-	-	-
3	Диазотирование	Емкостной реактор	Угл. сталь, Монель-400, рубашка, якорн. меш.	$v_3=7235$	4.92	0.35-0.75	-	-	-
4	Получение ацетата хрома	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, лоп. меш., $n \geq 100$ 1/мин	$v_4=3242$	6.17	0.35-0.75	-	-	-
5	Азосочетание	Емкостной реактор	Угл. сталь, эбонит, лоп. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_5=14873$	7.42	0.35-0.75	-	-	-
6	Получение красителя	Емкостной реактор	Нерж. сталь, плитка, змеевик, $n \geq 120$ 1/мин	$v_6=20793$	20.0	0.35-0.75	-	-	-
7	Подача на фильтрацию	Емкость с перемеш. устр-вом	Угл. сталь, резина, проп. меш., $n \geq 100$ 1/мин	$v_7=20793$	1.2	0.25-0.85	-	-	-
8	Фильтрация красителя	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Чугун(СЧ18) $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полипропилен	$m_8=851$ $v_8=1938$	-	-	0.5 кг/м ² ·ч	65	45
9	Сушка красителя	Сушилка роторная вакуумная	Нерж. сталь, $t_{\text{раб}} \geq 65$ °С, $p_{\text{раб}} \leq 0.1$ МПа	$m_9=1422$ $v_9=1938$	-	0-0.5	1.8 кг/м ² ·ч	85	-

Вариант №15.

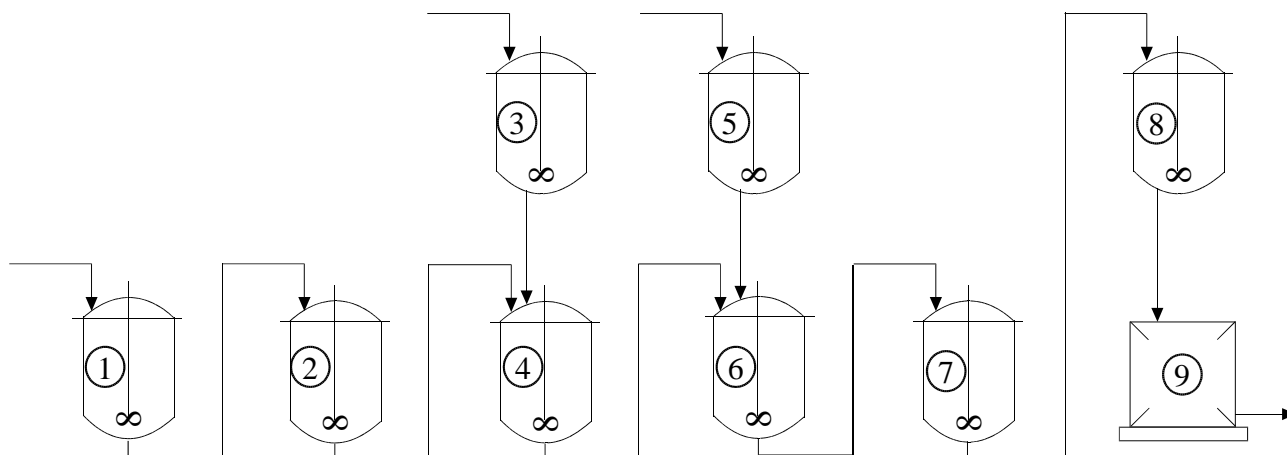
Продукт – *краситель прямой желтый 'К'*.

Объем выпуска продукта – *120 тонн*.

Срок выпуска продукта – *140 суток* при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – *ТС №2400, 2900 цеха №33*.

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. appar.	Хар-ки осн. appar.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заплн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, рубашка, фрез. меш.	$v_1=718$	3.5	0.3-0.8	-	-	-
2	Пригот. азосоставляющей	Емкостной реактор	Уг. ст., эмаль, рубашка, проп. меш., $n \geq 100$ 1/мин	$v_2=4512$	5.2	0.35-0.75	-	-	-
3	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Угл. сталь, якорн. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_3=1240$	3.0	0.3-0.8	-	-	-
4	Диазотирование	Емкостной реактор	Уг. ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 45$ 1/мин	$v_4=2216$	16.2	0.35-0.75	-	-	-
5	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Чугун/угл. ст. эмаль, якорн. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_5=3522$	4.17	0.3-0.8	-	-	-
6	Азосочетание	Емкостной реактор	Уг. ст., эмаль, рубашка, лоп. меш., $t_{\text{раб}} \geq 200$ °C	$v_6=6263$	3.6	0.35-0.75	-	-	-
7	Выделение красителя	Емкостной реактор	Угл. сталь, монель-400, змеевик, 2 лоп. меш.	$v_7=6350$	3.7	0.35-0.75	-	-	-
8	Подача на фильтрацию	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, змеевик, якорн. меш.	$v_8=6350$	1.0	0.25-0.85	-	-	-
9	Фильтрация	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Чугун, $\Delta p \geq 0.4$ МПа, полипропилен	$m_9=457$ $v_9=1397$	-	-	0.4 кг/м ² ·ч	67	25

Вариант №16.

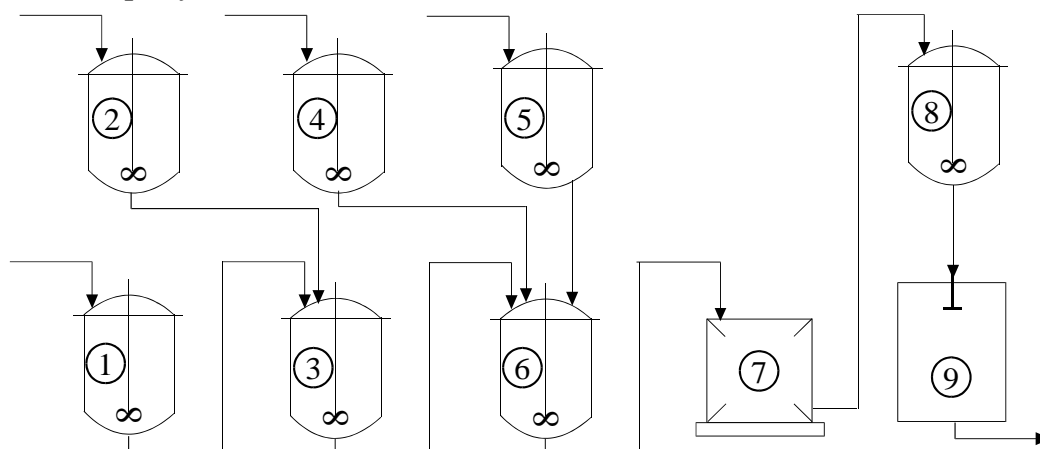
Продукт – *краситель дисперсный алый полиэфирный.*

Объем выпуска продукта – *25 тонн.*

Срок выпуска продукта – *60 суток* при круглосуточной работе ТС.

ТС для размещения процесса синтеза продукта – *ТС №3000, 5000 цеха №31.*

Стадии синтеза продукта:



Характеристики стадий:

№ стадии	Реализуемый процесс	Тип осн. аппарат.	Хар-ки осн. аппарат.	Материальные индексы (л/т, кг/т)	Длит. операций, ч	Коэф. заполн. (min-max)	Удельная произв.	Процент осн. опер.	Толщина осадка, мм
1	Приготовление НЗС-кислоты	Емкостной реактор	Нерж. сталь, якорн. меш., рубашка, $n \geq 25$ 1/мин	$v_1=2136$	11.07	0.35-0.75	-	-	-
2	Приготовление диазосоединения	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 40$ 1/мин	$v_2=5043$	3.67	0.35-0.75	-	-	-
3	Диазотирование	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, рубашка, якорн. меш., $n \geq 35$ 1/мин	$v_3=3257$	19.5	0.35-0.75	-	-	-
4	Суспензирование	Емкостной реактор	Уг.ст., эмаль, фрез. меш., рубашка, $n \geq 700$ 1/мин	$v_4=2251$	11.75	0.35-0.75	-	-	-
5	Растворение	Емкость с перемеш. устр-вом	Уг.ст., эбон., якорн. меш., $n \geq 25$ 1/мин	$v_5=6525$	5.67	0.25-0.85	-	-	-
6	Азосочетание	Емкостной реактор	Угл. сталь, эбонит, лоп. меш., $n \geq 30$ 1/мин	$v_6=13734$	17.75	0.35-0.75	-	-	-
7	Фильтрация красителя	Фильтр-пресс рамный/камерн.	Полипропилен, произв. ≥ 10 м ³ /час	$m_7=3378$ $v_7=4853$	-	-	0.45 кг/м ² ·ч	50	45
8	Репульпация	Емкость с перемеш. устр-вом	Нерж. сталь, лоп. меш., нар. змеевик, $n \geq 100$ 1/мин	$v_8=9685$	7.5	0.25-0.85	-	-	-
9	Сушка красителя	Сушилка с распыл. головкой	Нерж. сталь, произв. ≥ 150 м ³ /час	$m_9=1000$	-	-	0.35 кг/м ³ ·ч	95	-

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беркман, Б.Е. Основы технологического проектирования производств органического синтеза / Б.Е. Беркман. – М.: Химия, 1970. – 368 с.
2. Гуревич, Д.А. Проектные исследования химических производств / Д.А. Гуревич. – М.: Химия, 1976. – 208 с.
3. Альперт, З.А. Основы проектирования химических установок: Учебное пособие / З.А. Альперт. – М.: Высшая школа, 1989. – 304 с.
4. Конструирование и расчет машин химических производств / Под ред. Э.Э. Кольмана-Иванова. – М.: Машиностроение, 1985. – 346 с.
5. Поникаров И.И. Машины и аппараты химических производств / И.И. Поникаров, О.А. Перелыгин, В.Н. Доронин и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.
6. Процессы и аппараты химической технологии: В 5 т. Т.2. Механические и гидромеханические процессы / Под ред. А.М. Кутепова. – М.: Логос, 2001. – 600 с.
7. Рыбников, К.А. Введение в комбинаторный анализ / К.А. Рыбников. – М.: Высшая школа, 1972. – 255 с.
8. Ковалев, М.М. Дискретная оптимизация / М.М. Ковалев. – Минск: Изд-во БГУ, 1977. – 191 с.
9. Канторович, Л.В. Функциональный анализ / Л.В. Канторович, Г.П. Акилов. – М.: Наука, 1984. – 752 с.
10. Rippin, D.W.T. Design and operation of multiproduct and multipurpose batch chemical plants: An analysis of problem structure / D.W.T. Rippin // *Computers & Chemical Engineering*. – 1983. – Vol. 7. – No. 4. – P. 463-491.
11. Малыгин, Е.Н. Проектирование гибких производственных систем в химической промышленности / Е.Н. Малыгин, С.В. Мищенко // *Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева*. – 1987. – Т. 32. – № 3. – С. 293-300.
12. Кафаров, В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности / В.В. Кафаров, В.В. Макаров. – М.: Химия, 1990. – 320 с.
13. Shah, N. Optimal long-term campaign planning and design of batch operations / N. Shah, C. Pantelides // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 1992. – Vol. 31. – P. 2308-2321.
14. Voudouris, V.T. Synthesis of multiproduct batch plants with cyclic scheduling and inventory considerations / V.T. Voudouris, I.E. Grossmann // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 1993. – Vol. 32. – P. 1962-1980.
15. Voudouris, V.T. MILP model for scheduling and design of a special class of multipurpose batch plants / V.T. Voudouris, I.E. Grossmann // *Computers & Chemical Engineering*. – 1996. – Vol. 20. – No. 11. – P. 1335-1360.
16. Гордеев, Л.С. Интегрированная экспертная система для организации многоассортиментных химических производств / Л.С. Гордеев, М.А. Козлова, В.В. Макаров // *Теоретические основы химической технологии*. – 1998. – Т. 32. – № 3. – С. 322-332.
17. Lin, X. Design, synthesis and scheduling of multipurpose batch plants via an effective continuous-time formulation / X. Lin, C.A. Floudas // *Computers & Chemical Engineering*. – 2001. – Vol. 25. – P. 665-682.

18. Orçun, S. General continuous time models for production planning and scheduling of batch processing plants: MILP formulations and computational issues / S. Orçun, I.K. Antinel, Ö. Hortaçsu // Computers & Chemical Engineering. – 2001. – Vol. 25. – P. 371-389.
19. Резниченко, В.В. Об одном алгоритме формирования вариантов размещения производств на действующем оборудовании с мобильной технологической структурой / В.В. Резниченко, В.Я. Сильбер, В.К. Шитиков и др. // Теоретические основы химической технологии. – 1976. – Т. 10. – № 4. – С. 636-639.
20. Кафаров, В.В. Методологические принципы автоматизированного выбора оптимальной конструкции химико-технологических аппаратов / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин, Г.И. Минко и др. // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 1987. – Т. 30. – № 6. – С. 101-105.
21. Егоров, А.Ф. Оптимальный выбор типового оборудования при проектировании многоассортиментных химических производств / А.Ф. Егоров, В.П. Бельков, Н.С. Тюрина // Химическая промышленность. – 2001. – Т. 78. – № 2. – С. 40-45.
22. Полак, Э. Численные методы оптимизации. Единый подход / Э. Полак. – М.: Мир, 1974. – 376 с.
23. Бояринов, А.И. Методы оптимизации в химической технологии / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1975. – 576 с.
24. Кафаров, В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии / В.В. Кафаров. – М.: Химия, 1985. – 448 с.
25. Малыгин, Е.Н. Проектирование многоассортиментных химических производств: определение длительностей циклов обработки партий продуктов / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин // Вестник ТГТУ. – 1999. – Т. 5. – № 2. – С. 201-212.
26. Малыгин, Е.Н. Проектирование многоассортиментных химических производств: расчеты оборудования действующего производства при выпуске новой продукции / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, В.Г. Мокрозуб // Вестник ТГТУ. – 2000. – Т. 6. – № 4. – С. 572-583.
27. Малыгин, Е.Н. Проектирование многоассортиментных химических производств: определение аппаратного оформления химико-технологических схем / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко // Вестник ТГТУ. – 2002. – Т. 8. – № 2. – С. 272-282.
28. Малыгин, Е.Н. Методика определения аппаратного оформления многопродуктовых химико-технологических систем / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.Б. Борисенко // Химическая промышленность сегодня. – 2003. – № 5. – С. 43-50.
29. Малыгин, Е.Н. Методология определения аппаратного оформления многоассортиментных химических производств / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, Е.Н. Туголуков // Химическая промышленность. – 2004. – № 3. – С. 148-156.
30. Карпушкин, С.В. Система выбора аппаратного оформления многоассортиментных химических производств / С.В. Карпушкин, М.Н. Краснянский, А.Б. Борисенко // Информационные технологии. – 2004. – №10. – С. 14-19, 4-я ст. обложки.