

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Ивановский государственный химико-технологический университет

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**  
**по курсу «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ»**

Иваново 2016

Авторы: Ю.В. Царев, С.А. Царева, С.А. Буймова, А.Н. Тростин

Лабораторный практикум по курсу «Промышленная экология»  
/[Ю.В. Царев и др.]; Иван. гос. хим. - технол. ун-т. - Иваново, 2016.- 160 с.

Лабораторный практикум содержит начальные сведения о программе SuperPro Designer©, позволяющие научиться основам работы в этой программе, типовые лабораторные работы по курсу «Промышленная экология» и задания к работам. Приведен порядок выполнения работ, расчетов в программе SuperPro Designer©, а также вывод экономических отчетов и отчетов о воздействии на окружающую среду в формате программы Microsoft Word©.

Издание является раздаточным материалом и может быть использовано при самостоятельной подготовке для бакалавров очного и заочного обучения направления 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», профиля «Защита окружающей среды и промышленная экология».

Табл. 12. Ил. 69 . Библиогр.: 13 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета

Рецензенты:

Управление Росприроднадзора по Ивановской области; кандидат технических наук С.Б. Новиков (ФГБОУ ВО «Ивановская государственная сельскохозяйственная академия»).

© ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Предприятия химической отрасли сталкиваются с постоянно меняющимися потребностями рынка, всё более жёсткими требованиями к охране окружающей среды и одновременно им необходимо увеличивать объём и рентабельность производства, обеспечивать выпуск качественной и конкурентоспособной продукции. Поскольку все эти факторы тесно связаны между собой, то трудно предсказать, как они будут влиять друг на друга и в конечном итоге на деятельность предприятия.

Подобные вопросы адресуются инженерам-технологам и инженерам-экологам. Они выполняют работы по проектированию новых производств, оценке эффективности и модернизации существующих установок, их экологической безопасности, ориентируясь на поставленные перед ними бизнес - цели. Одного лишь опыта недостаточно, чтобы решить эти задачи – использование метода «проб и ошибок» приводит к дополнительным затратам и непредсказуемым последствиям. Чтобы избежать потери качества продукции, остановки технологического процесса и простоя оборудования, нужны эффективные инструменты для своевременного выявления и исправления возможных проблем.

Программный пакет SuperPro Designer помогает решать критические инженерные, производственные и экологические проблемы, возникающие в ходе жизненного цикла процесса, такие как проектирование новых процессов, оптимизация всего технологического процесса. Средства моделирования, заложенные в SuperPro Designer, позволяют инженерам предсказывать поведение установки. К таким средствам относятся: расчёт материальных и энергетических балансов, а также расчёт реакторов с учётом кинетики протекающих в них реакций. Используя строгие модели аппаратов, инженеры могут с большой точностью смоделировать поведение реальной установки.

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАБОТЕ В ПРОГРАММЕ SUPER PRO DESIGNER

## 1.1. Начало работы в программе SuperPro Designer



Для начала работы с программой **SuperPro Designer** необходимо щелкнуть по иконке программы на рабочем столе компьютера или выбрать соответствующий пункт меню «программы» Windows, нажав кнопку «ПУСК».

В появившемся диалоговом окне необходимо выбрать соответствующий пункт. Если вы раньше не работали с программой и у вас нет сохраненных проектов, выберите  **Start a New Flowsheet** и нажмите мышкой кнопку «Ок». Если вы хотите работать с последним проектом, то выберите  **Open Your Last Flowsheet**. Если же вы хотите работать с любым другим проектом или выбрать его позднее, то необходимо выбрать  **Open Another Flowsheet** или  **Will Choose Later** соответственно.

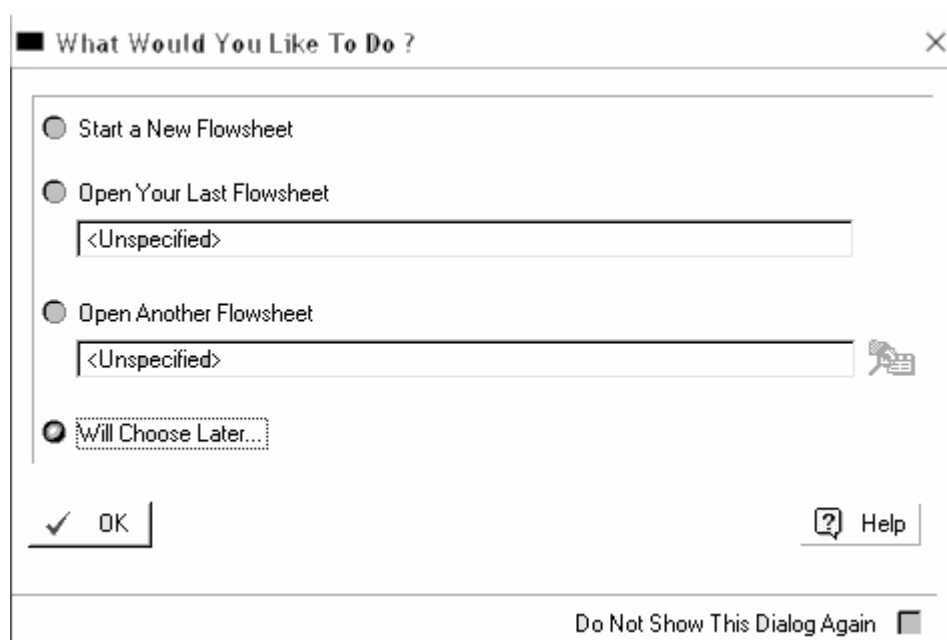


Рис. 1. Диалоговое окно начала работы с проектом

В зависимости от того, как вы намереваетесь осуществлять процесс, вы можете выбрать периодический ( **Batch**) или непрерывный ( **Continuous**) рабочий режим (рис. 2). На крупных заводах (предприятие по выпуску минеральных удобрений) все производственные операции

непрерывны. Для большинства небольших предприятий (мойка автомобилей) все операции периодические. В некоторых случаях имеются смешанные процессы. В таких производствах некоторые производственные операции осуществляют периодически (циклический режим), где есть время остановки, в то время как другие операции выполняются непрерывно. Как правило, режим, в котором вы производите свой целевой продукт, продиктует выбор для режима работы установки. Если рабочий режим установлен как непрерывный, то данные планирования не требуются на уровне операции, процедуры или процесса и «график Ганта», «диаграмма загрузки оборудования» и «диаграмма, следящая за ресурсом», не являются активными в меню.

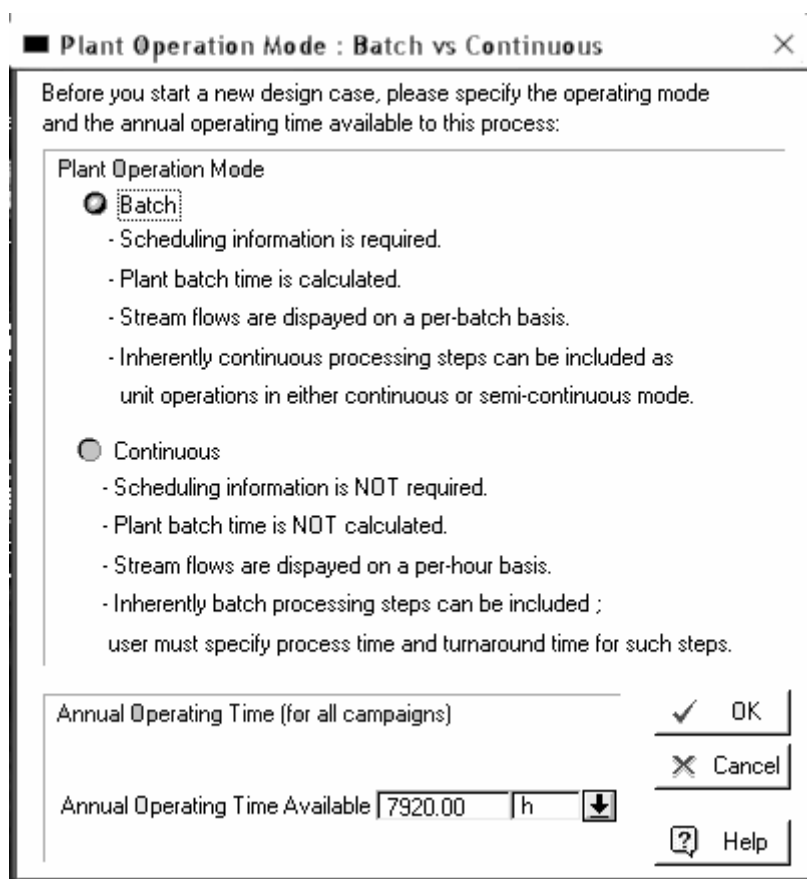


Рис. 2. Диалоговое окно выбора рабочего режима моделируемого процесса

### **Plant Operation Mode:Batch vs Continuous**

Из диалогового окна выбора рабочего режима моделируемого процесса **Plant Operation Mode:Batch vs Continuous** вы можете определить:

- рабочий режим для процесса (**Plant Operation Mode**);

- ежегодное рабочее время, доступное для этого процесса (**Annual Operating Time (for all campaign)**).

Ежегодное рабочее время - полное время, распределенное для всего оборудования, используемого в этом процессе, чтобы выполнить операции, требуемые процессом. Для заводов, работающих в непрерывном режиме, это время между планово-предупредительными ремонтами. Для периодически работающих установок это время отражает количество времени, которое необходимо для выполнения процесса, описанного в текущей технологической схеме. Если соображение годового выпуска продукции играет важную роль, вы должны быть осторожны в определении этого параметра, поскольку эта величина определяет число периодов, которые можно осуществить ежегодно.

## 1.2. Регистрация компонентов при моделировании в программе SuperPro Designer

Для того чтобы осуществить моделирование процесса, необходимо зарегистрировать все компоненты, которые являются исходными веществами, участвующими в реакциях, выступают в качестве промежуточных продуктов и образуются в качестве конечных продуктов и жидких, твердых или газообразных отходов.

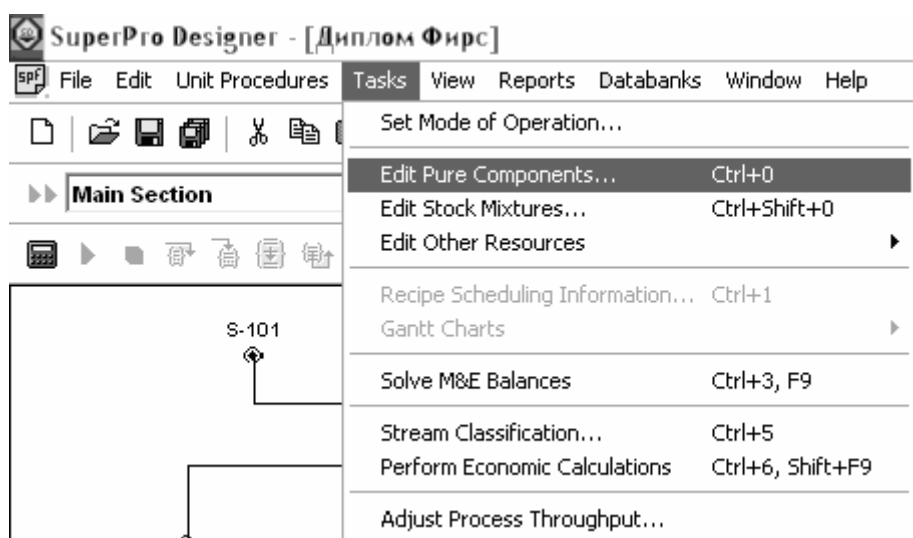


Рис. 3. Меню регистрации чистых компонентов (**Edit Pure Components...**)

Для регистрации компонентов необходимо выбрать в главном меню **Tasks** подменю **Edit Pure Components...**, как это представлено на рис. 3. В результате выполненных действий появится диалоговое окно **Register / Edit Pure Components...** в соответствии с рис. 4.

Диалоговое окно регистрации, редактирования существующих в базе и новых компонентов состоит из двух частей (рис. 4). В левой части диалогового окна регистрации, редактирования чистых компонентов (**Register / Edit Pure Components...**) находится список чистых компонентов в базе данных программы (**Pure Components in Database**). В верхней левой части диалогового окна расположено окно выпадающего списка **Source DB**, представляющее собой список баз данных компонентов программы. В этом списке существует 3 базы. Первая база **Designer** является основной и содержит большую часть компонентов и их свойств. Основную базу данных (**Designer**) нельзя редактировать и удалять из нее компоненты. Две другие базы компонентов из списка **Source DB** (**User** и **DipPR**) являются пользовательскими, и компоненты в этих базах можно редактировать и удалять.

В правой части диалогового окна **Register / Edit Pure Components...** приводится список уже зарегистрированных компонентов (**Registered Pure Component**). Если вы только начали работать над проектом, то там уже есть зарегистрированные компоненты: азот (**Nitrogen**), кислород (**Oxygen**) и вода (**Water**). Они всегда присутствуют в списке зарегистрированных компонентов и их нельзя удалять!

Чтобы зарегистрировать компонент из основной базы (**Designer**), необходимо из списка выбрать компонент, который является сырьем или продуктом реакции, или в латинском алфавите набрать первые буквы компонента. После того, как компонент выбран в окне списка, необходимо нажать на кнопку **Register**. В результате этих действий в списке зарегистрированных компонентов (**Registered Pure Component**) появится

выбранный вами компонент. Подобные действия необходимо повторить над всеми компонентами, участвующими в моделируемом процессе.

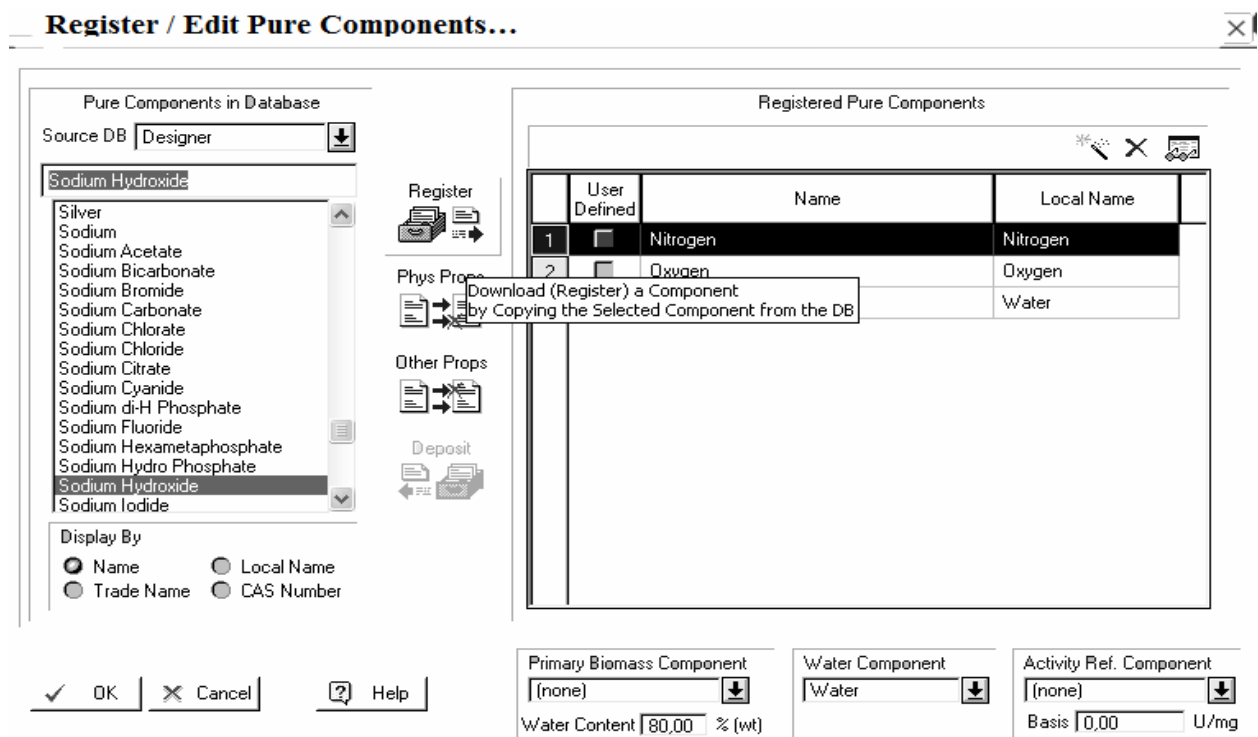


Рис. 4. Диалоговое окно регистрации, редактирования (**Register / Edit Pure Components...**) существующих в базе и новых компонентов

### 1.3. Регистрация новых компонентов при моделировании в программе **SuperPro Designer**

Если в окне списка **Pure Components in Database** диалогового окна **Register / Edit Pure Components...** вы не находите необходимого вам компонента, нужно его зарегистрировать самим, щелкнув мышкой по иконке

 **Add a New Component** (рис. 5).

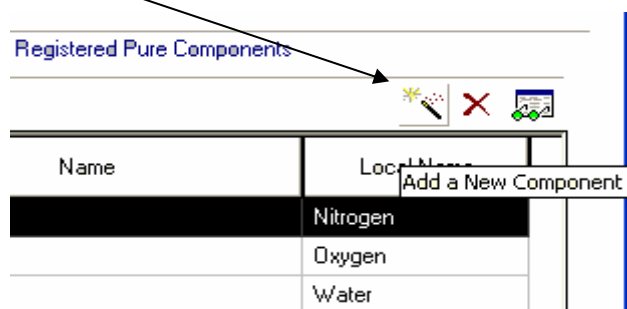


Рис. 5. Иконка **Add a New Component** над полем списка зарегистрированных чистых компонентов (**Registered Pure Component**)



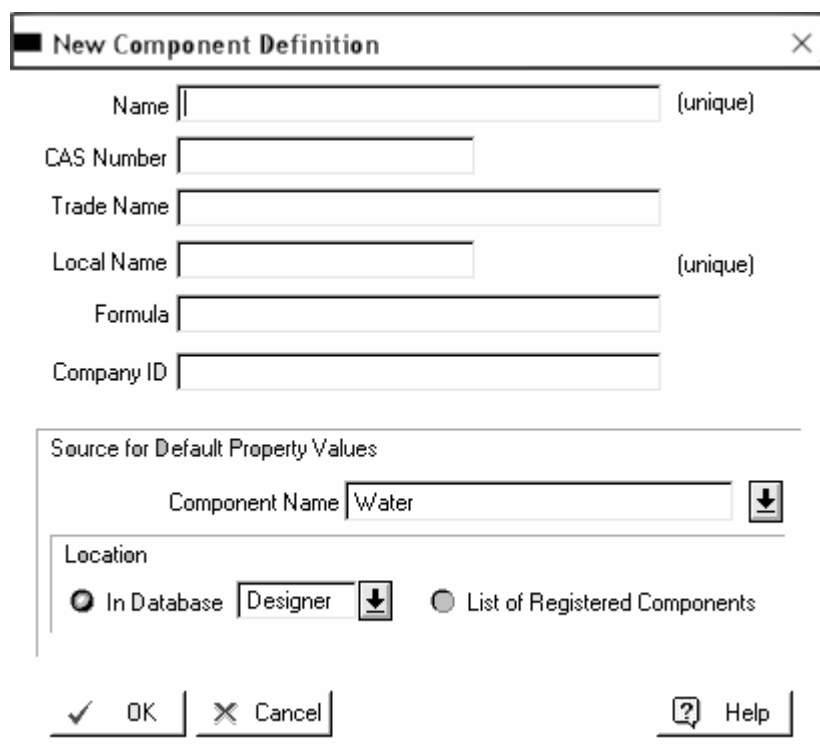


Рис. 6. Диалоговое окно наименований нового компонента (**New Component Definition**)

В результате выполненных действий должно появиться диалоговое окно наименований нового компонента (**New Component Definition**) (рис. 6). Вы должны заполнить шесть областей этого диалогового окна (**New Component Definition**) (их нельзя оставить незаполненными!). Название (**Name**), номер CAS (**CAS Number**), торговая марка (**Trade Name**) и локальное имя (**Local name**) должны быть уникальными для чистых компонентов и готовых смесей. После внесения данных необходимо нажать кнопку **OK**. Верхняя часть диалогового окна (**New Component Definition**) связана с инициализацией величин свойств нового компонента. Если вы оставите в нижней части диалогового окна (**New Component Definition**) в разделе **Source for Default Property Values**, в окне выпадающего списка **Component Name** пустое пространство, то все свойства нового компонента при инициализации будут равны нулю. Вы должны это делать крайне осторожно, так как нулевое значение свойств, при расчете модели оборудования, может привести к краху вычислений. Система не принимает величин, которые равны нулю (например, молекулярный вес), и заставит вас изменить их.

Если вы хотите копировать во вновь создаваемый компонент свойства компонента, который уже имеется в базе данных программы, то вы можете выбрать его в окне выпадающего списка **Component Name**. Например, если ваш новый компонент по свойствам близок к воде, то вы можете выбрать в нижней части диалогового окна **New Component Definition** в разделе **Source for Default Property Values**, в окне выпадающего списка **Component Name** текущий компонент «**Water**», как источник для свойств компонента. В дальнейшем эти свойства вы можете отредактировать, нажав в диалоговом окне **Register / Edit Pure Components...** на иконку **View/Edit the Selected Component Properties**, чтобы внести изменения (рис. 7). Вы можете копировать свойства компонента, используя компоненты из основной базы данных **Designer** или пользовательской базы данных **User**.

Официальное название (**Name**) чистого компонента вводится, когда компонент регистрируется в проекте или базе данных программы, и не может быть отредактировано. Названием может быть строка длиной в 31 знак.

Торговая марка (**Trade Name**) чистого компонента - это название, под которым это вещество широко известно на торговом рынке. Торговая марка вводится, когда компонент регистрируется в этом проекте или базе данных, но может быть изменена позже. Однако название торговой марки должно быть уникально. Названием торговой марки может быть строка длиной в 31 знак.

Брутто-формула (**Formula**) чистого компонента вводится, когда компонент регистрируется в проекте или базе данных программы и может быть изменена позже. Уникальность для брутто-формулы не требуется. Брутто-формулой может быть строка длиной в 31 знак.

Химический абстрактный порядковый номер (номер CAS)  
(**Chemical Abstract Serial Number (CAS Number)**)


Номер CAS вводится, когда компонент регистрируется в проекте или базе данных и может быть изменен позже. Уникальность для номера CAS необходима. Номер CAS может быть строкой длиной в 31 знак. Для тех

компонентов, номер CAS которых не известен (например, для таких «псевдокомпонентов», как мусор, биомасса и т.д.), установленным номером всегда является в соответствии с соглашением «N/A», после чего указывается уникальный номер, определенный пользователем.

### ID компании (**Company ID**)

Часто компоненты (химические соединения) идентифицируются и рассматриваются в больших химических производствах под их собственным идентификационным номером ID. ID компании предназначен, чтобы содержать это описание. ID компании вводится тогда, когда компонент регистрируется в проекте или банке данных, но может быть изменен позже. Уникальность для ID компании не требуется. ID компании может быть строка длиной в 31 знак.

#### 1.4. Редактирование свойств нового зарегистрированного компонента

В диалоговом окне **Register / Edit Pure Components...** щелкните иконку  **View/Edit the Selected Component Properties** (рис. 7). После выполненных действий на экране появится диалоговое окно с закладками **Pure Component Properties for:** с указанием названия компонента, для которого редактируются свойства компонента (рис. 8). Диалоговое окно с закладками **Pure Component Properties for:** содержит закладки:

- наименований нового компонента (**IDs**);
- постоянных физических свойств (**Physical(Constant)**);
- физических свойств, зависящих от температуры (**Physical(T-dependent)**);
- свойств компонента в воде (**Aqueous**);
- экономические показатели (**Economics**);
- категории загрязнителя (**Pollutant Categories**);
- комментарии (**Comments**).

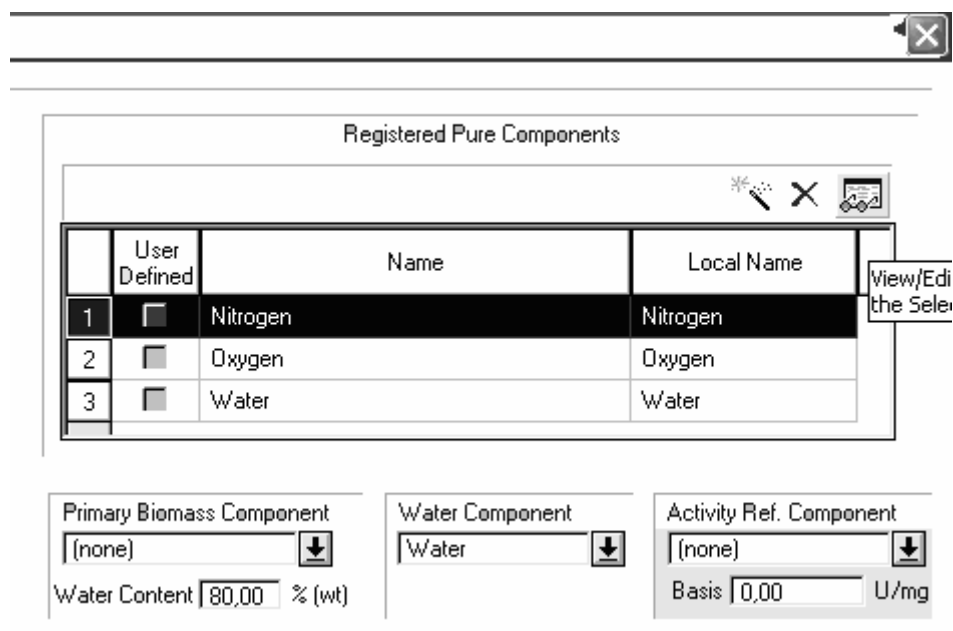


Рис. 7. Иконка **View/Edit the Selected Component Properties** над полем списка зарегистрированных чистых компонентов (**Registered Pure Component**)

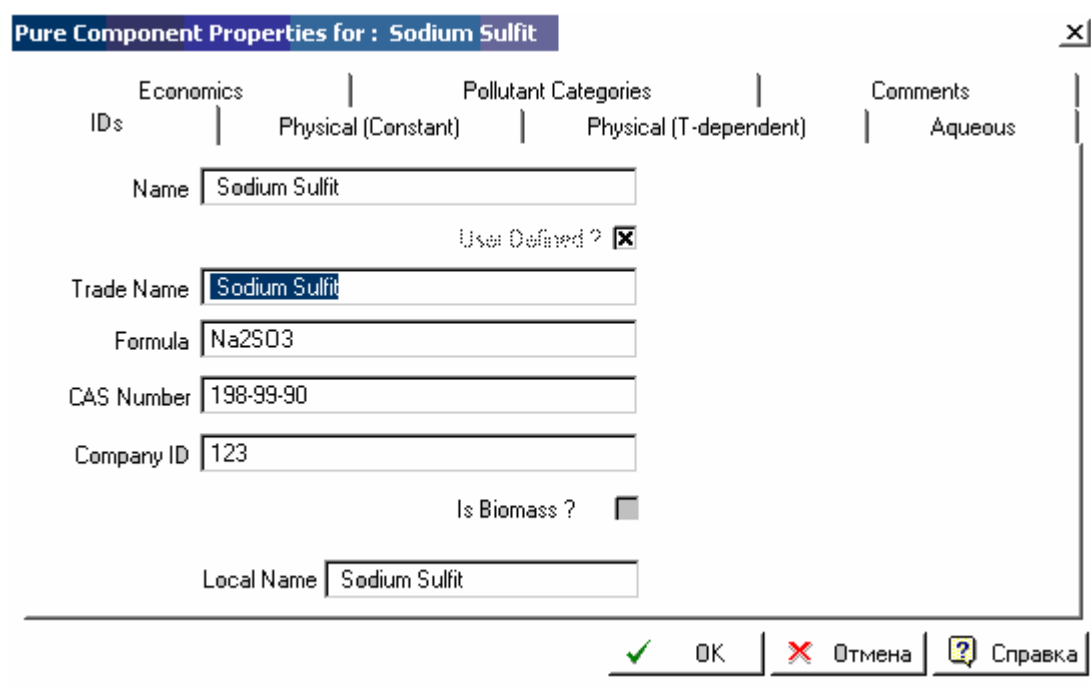


Рис. 8. Зкладка наименований компонента (**IDs**) диалогового окна **Pure Component Properties for:**

Зкладка наименований компонента (**IDs**) (рис. 8) диалогового окна **Pure Component Properties for:** содержит не редактируемое поле название (**Name**) и редактируемые поля: торговая марка (**Trade Name**), брутто-формула

**(Formula)**, химический абстрактный порядковый номер (**CAS Number**), ID компании (**Company ID**) и биомасса (**Is Biomass**).

Официальное название (**Name**) чистого компонента вводится, когда компонент регистрируется в проекте или базе данных, и не может быть отредактировано.

Торговая марка (**Trade Name**) чистого компонента - это название, под которым вещество широко известно на торговом рынке. Торговая марка вводится, когда компонент регистрируется в проекте или базе данных, но может быть изменена позже. Название торговой марки должно быть уникально. Торговой маркой чистого компонента может быть строка длиной в 31 знак.

Брутто-формула (**Formula**) чистого компонента вводится, когда компонент регистрируется в проекте или базе данных, и может быть изменена позже. Уникальность для брутто-формулы не требуется. Брутто-формула может быть строкой длиной в 31 знак.

Химический абстрактный порядковый номер (**CAS Number**) чистого компонента (если известен) вводится, когда компонент регистрируется в проекте или базе данных, но может быть изменен позже. Уникальность для номера CAS необходима. Номер CAS может быть строкой длиной в 31 знак. Для тех компонентов, номер CAS которых не известен (например, для таких «псевдокомпонентов», как мусор, биомасса и т.д.), установленным номером всегда является в соответствии с соглашением «N/A» и затем указывается уникальный номер, определенный пользователем.

Часто компоненты (химические соединения) идентифицируются и рассматриваются в больших химических производствах под их собственным идентификационным номером ID компании (**Company ID**). ID компании содержит это описание. ID компании вводится тогда, когда компонент регистрируется в проекте или базе данных и может быть изменен позже. Уникальность для ID компании не требуется. ID компании может быть строка длиной в 31 знак.

Установка флага (**Is Biomass**) , позволяет программе опознать компонент в качестве биомассы. Используется для обозначения первичного компонента биомассы при расчетах во всех биологических реакторах.

Economics		Pollutant Categories		Comments	
IDs	Physical (Constant)		Physical (T-dependent)		Aqueous
<b>Main Properties</b>					
MW	28,02	g/gmol			
Enthalpy of Formation	0,00	J/gmol			
Normal Boiling Point	-195,76	°C			
Normal Freezing Point	-210,00	°C			
<b>Critical Properties</b>					
Temperature	-146,90	°C			
Pressure	34,65	bar			
Compressibility Factor	0,2900				
Acentric Factor (Omega)	0,0390				
<b>Miscellaneous</b>					
Henry's Const. x10**4	0,000000	atm-m3/gmol			
Particle Size	0,00	micron			
Default Volumetric Coefficient	1,00				

OK   
 Отмена   
 Справка

Рис. 9. Закладка постоянных физических свойств (**Physical (Constant)**) компонента диалогового окна **Pure Component Properties for:**

Закладка постоянных физических свойств (**Physical(Constant)**) компонента (рис. 9) диалогового окна **Pure Component Properties for:** содержит разделы: основные свойства (**Main Properties**) компонента, критические свойства (**Critical Properties**) компонента и дополнительные свойства (**Miscellaneous**) компонента.

#### Основные свойства (**Main Properties**) компонента

Молекулярный вес (**MW**) компонента используется при расчетах перегонки, сушки, конденсации, абсорбции, эвапорации, электрофльтрации и расчете всех реакторов. Энтальпия образования (Дж/г моль) (**Enthalpy of Formation**) [J/gmol] не используется в настоящее время. Нормальная точка кипения (**Normal Boiling Point**) [°C] используется при перегонке, сушке,

конденсации. Применяется, чтобы определить фазу компонента (газ - жидкость/твердое). С использованием этого показателя программа решает, использовать ли предложенную пользователем корреляцию для плотности (применимой для жидкой/твердой фазы) или использовать закон об идеальном газе, чтобы определить плотность (для идеального газа). Нормальная точка замерзания (**Normal Freezing Point**) [°C] используется, чтобы определить, находится ли данный компонент в жидкой или твердой фазе.

#### Критические свойства (**Critical Properties**) компонента

Критическая температура (**Critical Temperature**) [°C] используется при перегонке, испарении в тонкой пленке с перемешиванием и конденсации. Критическое давление (бар) (**Critical Pressure**) [bar] используется, чтобы определить, находится ли данный компонент в жидкой или твердой форме. Коэффициент сжимаемости (**Compressibility Factor**) используется при перегонке, сушке и конденсации. Коэффициент Омега (**Omega Factor**) не используется в текущей версии программы. Крупность частиц (**Particle Size**) [микрон] используется при расчетах фильтров и центрифуг.

#### Дополнительные свойства (**Miscellaneous**) компонента

Константа Генри [атм·м<sup>3</sup>/моль] (**Henry's Law Constant**) [atm·m<sup>3</sup>/mol] используется при расчетах абсорбции, эвапорации и расчетах выбросов летучих органических соединений (**VOC**). Коэффициент наполнения по умолчанию (**Default Volumetric Coefficient**) используется при оценке плотности потока (смеси компонентов), когда этот компонент присутствует в потоке.

При выборе закладки свойств компонента в воде (**Aqueous**) диалогового окна **Pure Component Properties for:** (рис. 10) необходимо ввести значения, которые подробно описаны ниже.

**Pure Component Properties for:**

Economics		Pollutant Categories		Comments	
IDs	Physical (Constant)	Physical (T-dependent)		Aqueous	
<b>Diffusivity Properties</b>				Log10 (Octanol/water) <input type="text" value="0,0000"/>	
In Water (x10**6)	<input type="text" value="22,0500"/>	cm2/s			
In Air (x10**3)	<input type="text" value="0,0000"/>	cm2/s			
<b>Bio-Degradation Properties</b>				<b>Carbon Ratio</b>	
Kmaxo	<input type="text" value="0,0000"/>	mg substr/g Biomass-h	TOC	<input type="text" value="0,0000"/> g C/g	
Ks	<input type="text" value="0,0000"/>	mg/L	<b>Phosphorous Ratio</b>	TP <input type="text" value="0,0000"/> g P/g	
<b>Oxygen Ratios</b>				<b>CaCO3 Ratio</b>	
COD	<input type="text" value="0,0000"/>	g O/g	CaCO3	<input type="text" value="0,0000"/> g CaCO3/g	
ThOD	<input type="text" value="0,0000"/>	g O/g	<b>Solid Ratios</b> <input type="checkbox"/> Solid ?		
BODu / COD	<input type="text" value="0,0000"/>	g/g	TS	<input type="text" value="0,0000"/> g solids/g	
BOD5 / BODu	<input type="text" value="0,0000"/>	g/g	TSS / TS	<input type="text" value="0,0000"/> g/g	
<b>Nitrogen Ratios</b>				VSS / TSS	<input type="text" value="0,0000"/> g/g
TKN	<input type="text" value="0,0000"/>	g N/g	DVSS / VSS	<input type="text" value="0,0000"/> g/g	
NH3	<input type="text" value="0,0000"/>	g N (as NH3)/g	VDS / TDS	<input type="text" value="0,0000"/> g/g	
NO3 - NO2	<input type="text" value="0,0000"/>	g N (as NO3,NO2)/g	DVDS / VDS	<input type="text" value="0,0000"/> g/g	

OK
  Отмена
  Справка

Рис. 10. Закладка свойств компонента в воде (**Aqueous**) диалогового окна

### Pure Component Properties for:

Логарифм отношения концентраций компонента в октаноле и воде (**Log10 (Octanol/Water)**) указывает на гидрофобность вещества и его способность к отстаиванию. Данный показатель не используется в текущей версии программы.

Диффузионная способность в воде [ $\text{cm}^2/\text{сек}$ ] (**Diffusivity in Water [ $\text{cm}^2/\text{s}$ ]**) используется в вычислениях выбросов VOC (летучих органических соединений).

Диффузионная способность в воздухе [ $\text{cm}^2/\text{сек}$ ] (**Diffusivity in Air [ $\text{cm}^2/\text{s}$ ]**) используется в вычислениях выбросов VOC (летучих органических соединений).

Максимальная постоянная скорости биodeградации (**Kmax [мг субстрата/г-биомассы-час]**) используется в вычислениях скорости реакции биodeградации органических соединений в аэротенке.

Константа полунасыщения субстрата (мг/л) (**Ks [mg/L]**) используется в



вычислениях скорости реакции биodeградации в аэротенке.

Общий органический углерод [г органического углерода / г вещества] (**Total Organic Carbon (TOC) [g organic carbon / g substance]**) представляет собой содержание органического углерода в компоненте. Используется в вычислении значения ТОС потоков.

Общий фосфор (ТР) [г фосфора / г вещества] (**Total Phosphorous (TP) [g phosphorous / g substance]**) представляет собой содержание общего фосфора в компоненте. Используется в вычислении значения ТР материальных потоков.

Общее содержание азота по Кьельдалю (ТКН) [г ТКН / г вещества] (**Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) [g TKN / g substance]**) представляет собой общее содержание азота по Кьельдалю в компоненте. Используется в вычислении значения ТКН материальных потоков.

Аммонийный азот ( $\text{NH}_3$ ) [г  $\text{NH}_3$  - N / г вещества] (**Ammonia Nitrogen ( $\text{NH}_3$ ) [g  $\text{NH}_3$  - N / g substance]**) представляет собой содержание аммонийного азота в компоненте. Используется в вычислении значения  $\text{NH}_3$  материальных потоков.

Нитрат/нитритный азот ( $\text{NO}_3/\text{NO}_2$ ) [г  $\text{NO}_3/\text{NO}_2$  - N / г вещества] (**Nitrate/Nitrite Nitrogen ( $\text{NO}_3/\text{NO}_2$ ) [g $\text{NO}_3/\text{NO}_2$ -N/g substance]**) представляет собой содержание нитрат/нитритного азота в компоненте. Используется в вычислении значения  $\text{NO}_3/\text{NO}_2$  материальных потоков.

Химическое потребление кислорода (ХПК) [г кислорода / г вещества] (**Chemical Oxygen Demand (COD) [g oxygen / g substance]**) представляет количество кислорода (г), чтобы химически окислить 1 г вещества. Этот показатель используется в вычислении значения (COD) материальных потоков.

Теоретическая потребность в кислороде (окисляемость) [г кислорода / г вещества] (**Theoretical Oxygen Demand (ThOD) [g oxygen / g substance]**) представляет теоретическое количество кислорода (в граммах), требуемое для полного окисления 1 грамма вещества. Эта величина обычно равна

(ХПК) и используется в вычислении значения ThOD материальных потоков.

**(BOD<sub>u</sub>/COD (БПК<sub>п</sub>/ХПК))** Представляет отношение полной БПК<sub>п</sub> (BOD<sub>u</sub>) к ХПК (COD) вещества. Используется в вычислениях значения БПК<sub>п</sub> материальных потоков, основанных на значении ХПК каждого компонента.

**(BOD<sub>5</sub>/BOD<sub>u</sub> (БПК<sub>5</sub>/БПК<sub>п</sub>))** Представляет отношение пятидневного БПК к полной БПК. Используется в вычислении значения БПК<sub>5</sub> материальных потоков, основанных на значениях БПК<sub>п</sub>.

Содержание CaCO<sub>3</sub> [мг CaCO<sub>3</sub> / л] (**CaCO<sub>3</sub> Content [mg of CaCO<sub>3</sub> / L]**) представляет содержание CaCO<sub>3</sub> в воде.

**(IsSolid [Булевская переменная])** Если для компонента установлено , то это указывает, что компонент растворен или суспендирован в воде.

Сумма твердых частиц (TS) [г твердых частиц / г вещества] (**Total Solids (TS) [g solids / g substance]**) представляет фракцию компонента, который растворен или суспендирован в воде (это обычно будет или 0 или 1). Используется в вычислении значения TS материальных потоков.

Общее содержание взвешенных веществ (TSS / TS) [г TSS / г TS] (**Total Suspended Solids (TSS / TS) [g TSS / g TS]**) представляет фракцию твердого компонента, который находится во взвешенном состоянии в воде. Используется в вычислении значения TSS материальных потоков. Если TSS=1, то данное вещество полностью растворено в воде.

Летучие взвешенные твердые вещества (VSS / TSS) [г VSS / г TSS] (**Volatile Suspended Solids (VSS / TSS) [g VSS / g TSS]**) представляют фракцию суспендируемого твердого компонента, который является летучим. Показатель измерен как органическая фракция, которая окисляется при 550±50 °С и отгоняется как газ. Используется при вычислении значения VSS материальных потоков.

Деградируемые летучие взвешенные твердые вещества (DVSS / VSS) [г DVSS / г VSS] (**Degradable Volatile Suspended Solids (DVSS / VSS) [gDVSS/gVSS]**) представляют фракцию летучего суспендируемого твердого компонента, который поддается биологическому разложению. Используется

при вычислениях значения DVSS материальных потоков.

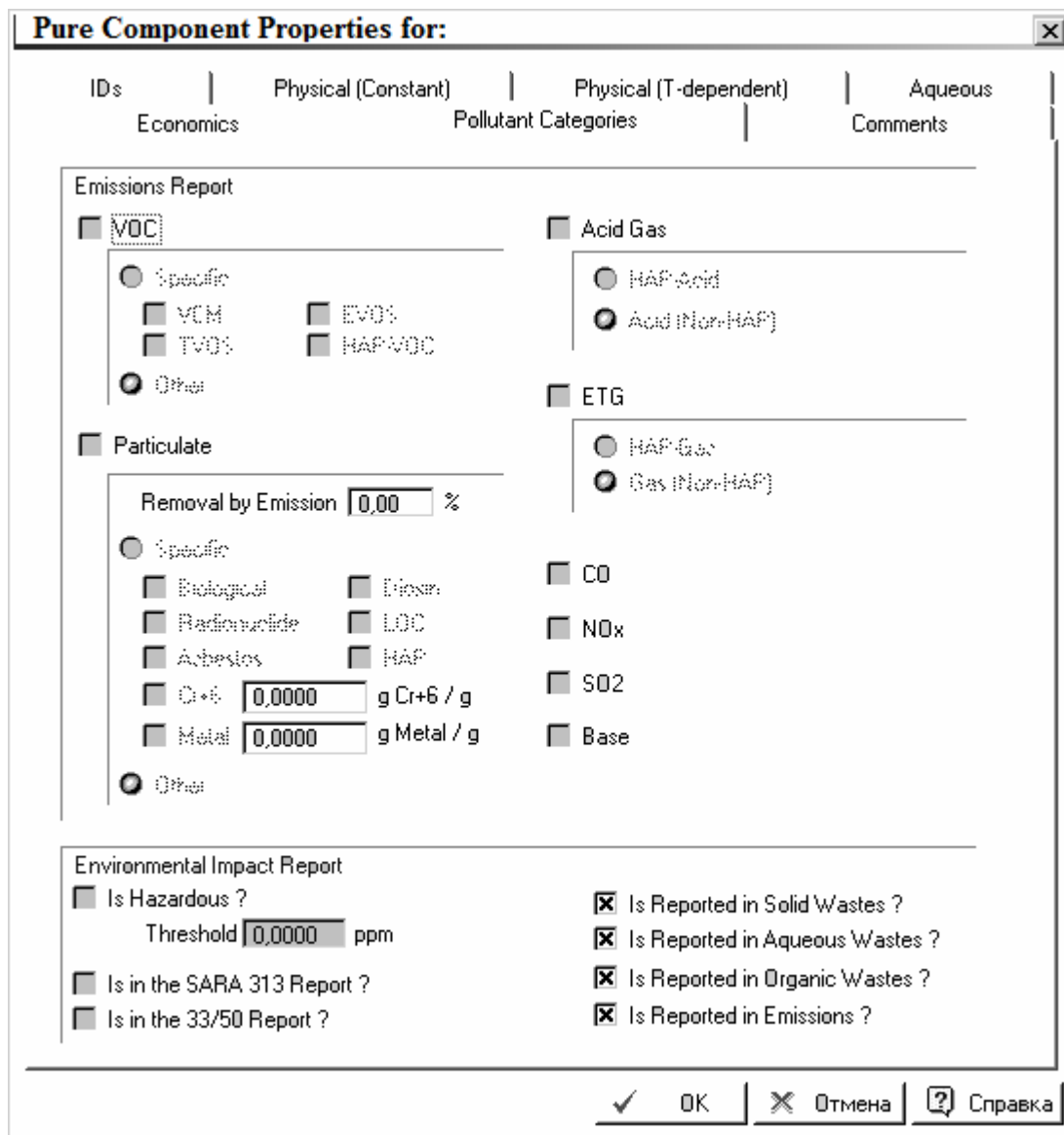


Рис. 11. Закладка категории загрязнителя (**Pollutant Categories**) диалогового окна **Pure Component Properties for:**

Летучие растворимые вещества (VDS / TDS) [г VDS / TDS г] (**Volatile Dissolved Solids (VDS / TDS) [g VDS / g TDS]**) представляют фракцию растворенного твердого компонента, который является летучим. Используется при вычислении значения VDS материальных потоков.

Деградируемые летучие растворимые твердые вещества (DVDS / VDS) [г DVDS / г VDS] (**Degradable Volatile Dissolved Solids (DVDS / VDS) [g DVDS / g VDS]**) представляют фракцию летучего растворенного твердого компонента, который поддается биологическому разложению. Используется

при вычислениях значения DVDS материальных потоков.

Закладка категории загрязнителя (**Pollutant Categories**) (рис. 11) диалогового окна **Pure Component Properties for:** содержит раздел отчета по выбросам веществ (**Emission Report**) компонента и раздел отчета о воздействии на окружающую среду (**Environmental Impact Report**).

Раздел отчета о воздействии на окружающую среду

### (**Environmental Impact Report**)

Опасно (**Is Hazardous**) [Boolean]. Если это правда,  отмечает тот компонент как опасный. Присутствие в потоке опасного компонента на уровне выше, чем опасный порог (**Threshold**), введенное в окне редактирования, автоматически отмечает целый поток как опасный.

Опасный порог (**Hazardous Threshold**) [ppm] определяет концентрацию компонента в потоке, выше которой целый поток обозначается как опасный. При температуре 25°C и давлении 1 бар можно пользоваться следующими формулами:

$$C_{ppm} = (C \text{ mg/m}^3) \cdot (24,45) / (\text{молекулярная масса в г}) \text{ или}$$

$$C_{\text{mg/m}^3} = (C_{ppm}) \cdot (\text{молекулярная масса в г}) / 24,45.$$

Эти формулы относятся только к концентрации паров или газов в воздухе.

**SARA 313** [Boolean]. Если это правда,  указывает, что компонент включен в SARA 313 раздела химикатов отчета воздействия на окружающую среду (отчет EIR).

**33/50** [Boolean]. Если это правда, то  указывает программе, что компонент находится в 33/50 программе EPA, и также будет включен в 33/50 раздел химикатов отчета о воздействии на окружающую среду (EIR).

Сопровождается в твердых отходах (**Is Tracked in Solid Wastes**) [Boolean]. Если это правда, то  указывает программе, что компонент должен сопровождаться во всех потоках твердых отходов, и также он будет присутствовать в разделе твердых отходов отчета о воздействии на окружающую среду (EIR).

Сопровождается в жидких отходах (**Is Tracked in Liquid Wastes**) [Boolean]. Если это правда, то  указывает программе, что компонент должен сопровождаться во всех потоках жидких отходов, и также он будет присутствовать в разделе жидких отходов отчета о воздействии на окружающую среду (EIR).

Сопровождается в выбросах (**Is Tracked in Emissions**) [Boolean]. Если это правда, то  указывает программе, что компонент должен сопровождаться во всех выбросах, и также он будет присутствовать в разделе выбросов отчета о воздействии на окружающую среду (EIR).

#### Раздел отчета по выбросам веществ (**Emission Report**)

Вещество может обозначаться как загрязнитель, не относящийся ни к одной категории загрязнителей: летучее органическое соединение (**VOC**), твердое взвешенное вещество (**Particulate**), кислый газ (**Acid Gase**), чрезвычайно токсичный газ (**ETG**), монооксид углерода (**CO**), оксиды азота (**NO<sub>x</sub>**), оксиды серы (**SO<sub>2</sub>**), щелочной газ (**Base**) или любая из определяемых пользователем категорий.

Если компонент будет определен в программе соответствующим образом, то он будет включен в категорию загрязняющего вещества раздела выбросов отчета EIR. Заметьте, если пользователь определил собственные категории загрязняющих веществ (смотри раздел 1.11), тогда эти категории появятся также под «**Other**» («другая») группа категорий.

Для компонента, определяемого как **VOCs** (летучие органические соединения

Если компонент определяется как **VOC** , тогда он должен быть далее категоризирован следующим образом. Если он не может быть идентифицирован как принадлежащий к одной из четырех подкатегорий (**VCM** , **TVOS** , **EVOS**  или **НAP-VOC** ) , то он должен быть обозначен как «**OTHER** » («другой») **VOC**. Пределы для всех выше подкатегорий определены EPA.

Для компонента, определяемого как взвешенное вещество (**Particulates**)  
(ТВЧ)

Если компонент определяется как взвешенное вещество **Particulates** , тогда он должен быть далее категоризирован следующим образом. Если он не может быть идентифицирован как принадлежащий к одной из восьми подкатегорий (биологические (**Biological** ), радиологические (**Radionucleid** ), асбесты (**Asbestos** ), диоксины (**Dioxin** ), нелетучие органические соединения (**LOC** , опасные атмосферные загрязнители **НАР** , аэрозоль соединений шестивалентного хрома **Cr+6** , металлическая пыль (**Metal** )), тогда он должен быть просто обозначен как «**OTHER** » («другой») (**Particulates**). Пределы для всех вышеназванных подкатегорий определены ЕРА.

Для компонента, определяемого как кислые газы (**Acid Gases**)

Если компонент относится к кислым газам (**Acid Gases** , тогда он должен быть далее категоризирован или как **НАР-Acid** , или как **Acid [non-НАР]** . Пределы для этих подкатегорий определены ЕРА.

Для компонента, определяемого как **ETGs**:

Если компонент определяется как **ETG** , тогда он должен быть далее категоризирован или как **НАР-GAS**  или как **GAS [non-НАР]** . Лимиты для этих подкатегорий определены ЕРА.

Для всех вышеупомянутых классификаций загрязняющих веществ вы можете определить допустимые пределы выбросов, и SuperPro Designer будет следовать установленным лимитам для всех выбросов вашего процесса и уведомит вас, если произойдут какие-нибудь нарушения. Пределы лимитов выбросов для каждой категории загрязняющих веществ устанавливаются в разделе 1.11.

Закладка физических свойств (рис. 12), зависящих от температуры (**Physical(T-dependent)**), диалогового окна **Pure Component Properties for:** содержит разделы: плотность (**Density**), теплоемкость (**Heat Capacity**), парциальное давление паров (**Saturated Vapor Pressure(Antoine)**) и теплоту

## парообразования (**Heat of Vaporization**).

**Pure Component Properties for : Sodium Sulfit**

Economics	Pollutant Categories	Comments
IDs	Physical (Constant)	Physical (T-dependent)
		Aqueous
<b>Density</b> Liquid/Solid Density (g/L) = a + bT, where T is in K. a: <input type="text" value="1103,38"/> b: <input type="text" value="-0,3645"/>		<b>Saturated Vapor Pressure (Antoine)</b> log Pi (in mmHg) = a - b/(c+T), where T is in K. a: <input type="text" value="8,0600"/> b: <input type="text" value="1725,3280"/> c: <input type="text" value="-40,0199"/>
<b>Heat Capacity</b> Liquid/Solid Cp <input type="text" value="75,2400"/> J/gmol-K Gaseous Cp (J/gmol-K) = a + bT + cT**2 + dT**3, where T is in K. a: <input type="text" value="32,2400"/> b: <input type="text" value="0,1924"/> x 1.0E-2 c: <input type="text" value="0,1055"/> x 1.0E-4 d: <input type="text" value="-0,3596"/> x 1.0E-8		<b>Heat of Vaporization</b> In J/gmol, where Tr=T/Tc and T is in K. $\Delta H_v = a (1 - T_r)^b$ <input checked="" type="checkbox"/> Use Watson Correlation a: <input type="text" value="60334,5172"/> b: <input type="text" value="0,4132"/>

Plot Any T-Dependent Property...

✓ OK    ✕ Отмена    ? Справка

Рис. 12. Закладка физических свойств, зависящих от температуры (**Physical(T-dependent)**) диалогового окна **Pure Component Properties for:**

Плотность [кг/м<sup>3</sup>] (**Density [kg/m<sup>3</sup>]**) используется для преобразования массовых и объемных скоростей потока и при вычислении концентрации компонентов в потоке. В программе **SuperPro Designer** при определении плотности компонентов используются корреляционные зависимости для жидкой или твердой фазы. Если программа оценивает плотность компонента в газовой фазе при температуре T, которая выше, чем нормальная точка кипения, тогда используется для расчета закон для идеального газа или отобранное пользователем уравнение состояния, чтобы оценить молярный объем. В этом случае плотность компонента рассчитывается, как зависимость от молярного объема при этой температуре (T).

Теплоемкость для жидкого или твердого компонента [Дж/г моль К] (**Liquid / Solid Heat Capacity [J/gmole-K]**) и теплоемкость газа [Дж/г моль К] (**Vapor Heat Capacity [J/gmole-K]**) используется при расчете энергетического баланса.

Критическая температура [K] (**Critical Temperature [K]**) используется при расчете перегонки, выпаривании в испарительном барабане и расчете конденсора.

Критическое давление [бар] (**Critical Pressure[bar]**) используется при расчетах перегонки, выпаривании в испарительном барабане и расчете конденсора.

The image shows a software dialog box titled "Pure Component Properties for: Sodium Sulfit". The "Economics" tab is selected. The dialog is divided into four columns: "IDs", "Physical (Constant)", "Physical (T-dependent)", and "Aqueous". Under "Physical (Constant)", there are three input fields: "Purchasing Price" with a value of 0.000000 \$/kg, "Selling Price" with a value of 0.000000 \$/kg, and "Waste Treatment or Disposal Cost" with a value of 0.000000 \$/kg. There is also a "Supplier" input field. At the bottom, there are buttons for "OK", "Отмена" (Cancel), and "Справка" (Help).

Рис. 13. Закладка экономические показатели (**Economics**) диалогового окна

### Pure Component Properties for:

Парциальное давление паров [мм рт. ст.] (**Saturated Vapor Pressure(Antoine) [mmHg]**) используется при расчетах выпаривания в испарительном барабане и расчете конденсора.

Теплота парообразования [Дж/г моль] (**Heat of Vaporization [J/gmol]**) используется при расчете энергетических балансов, испарении в тонкой пленке с перемешиванием и конденсации. Пользователь может ввести величины значений коэффициентов для уравнения корреляции Ватсона или воспользоваться параметрами, которые могут быть рассчитаны комбинацией метода на основе эмпирической формулы. Фундаментальными свойствами, необходимыми для расчетов по этим эмпирическим формулам, являются: точка кипения, критическая температура и давление.

Закладка экономические показатели (**Economics**) (рис. 13) диалогового окна **Pure Component Properties for:** позволяет ввести значения отпускной



(**Purchasing Price**) и закупочной цены (**Selling Price**), а также стоимость переработки или размещения отходов (**Waste Treatment or Disposal Cost**).

Отпускная цена [\$/кг] (**Selling Price** [\$/kg]) и закупочная цена [\$/кг] (**Selling Price** [\$/kg]) используются в экономических вычислениях.

Стоимость переработки или размещения отходов [\$/кг] (**Waste Treatment or Disposal Cost** [\$/kg]) используется, чтобы оценить стоимость очистки сточных вод / стоимость размещения смеси отходов на основании его состава. Если вы не указываете напрямую стоимость очистки сточных вод, она оценивается на основании вклада в стоимость каждого присутствующего в материальном потоке компонента.

### 1.5. Регистрация готовых или новых смесей в программе SuperPro Designer

В реальном химическом производстве в технологическом процессе используются не чистые компоненты, а смеси компонентов. Программа SuperPro Designer позволяет зарегистрировать смесь компонентов любого состава. Для приготовления смеси выберите в меню **Tasks** подменю **Edit Stock Mixtures** (рис. 14).

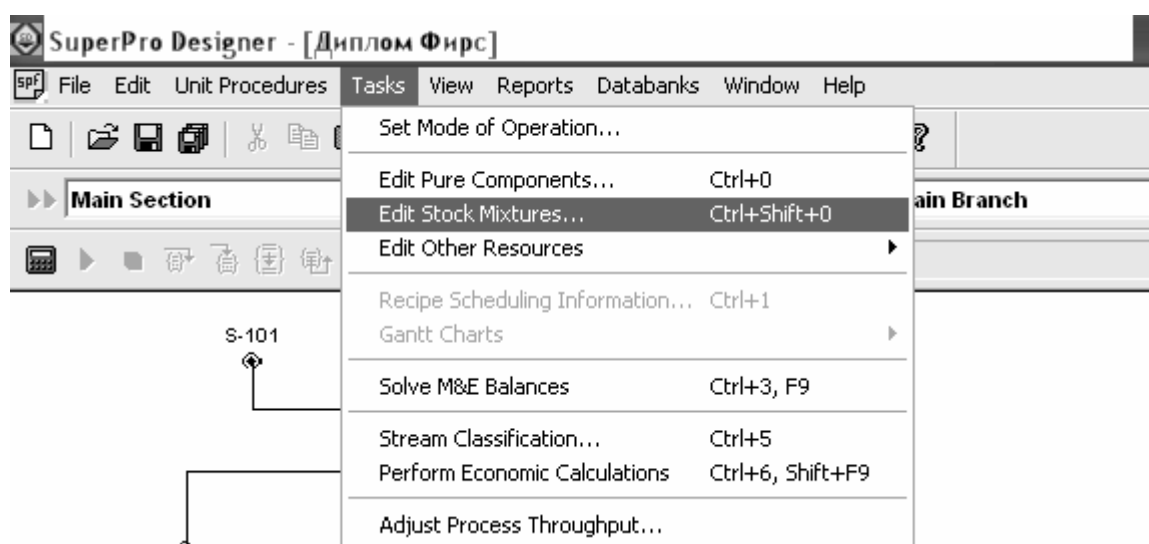


Рис. 14. Меню регистрации смеси компонентов

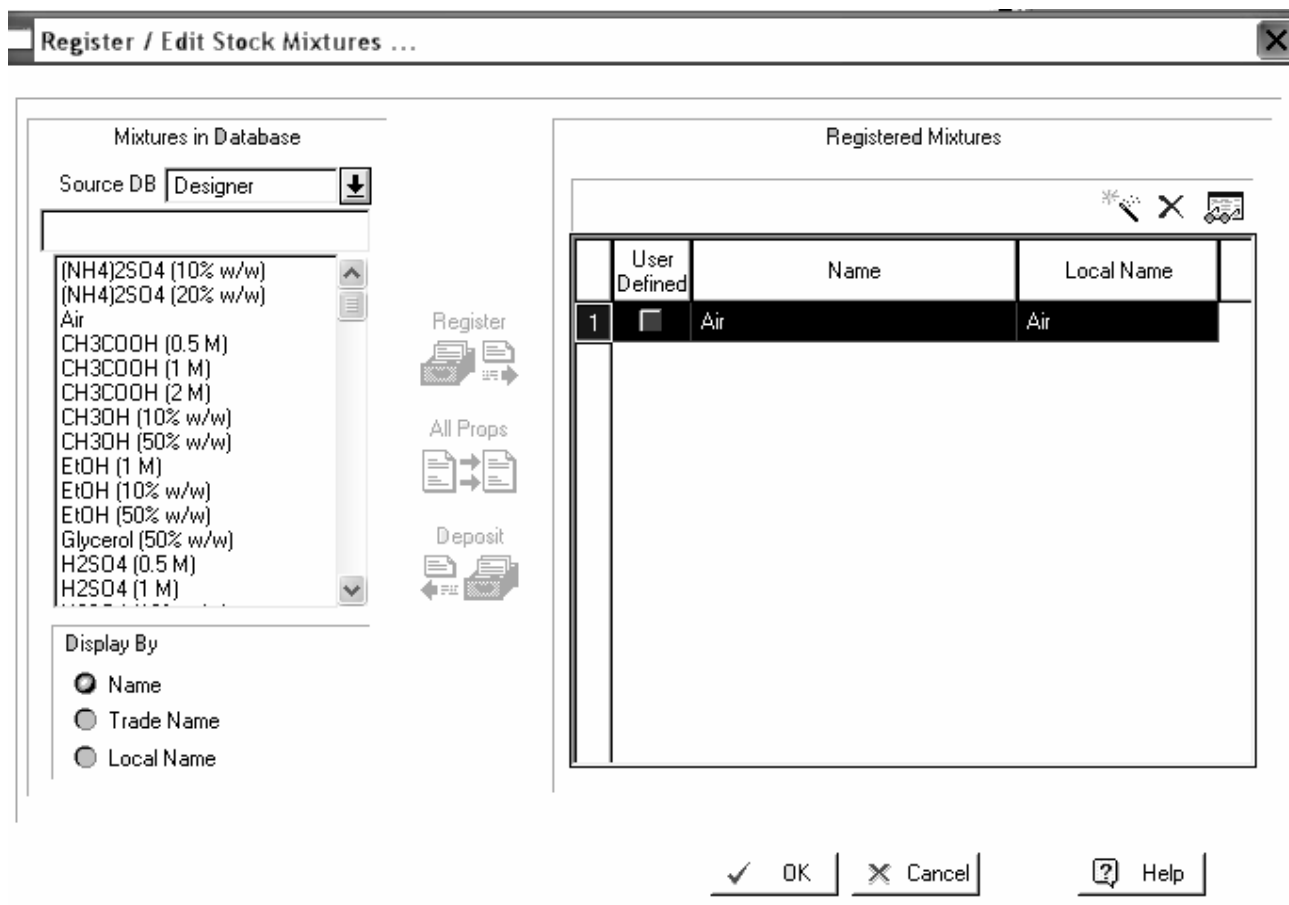


Рис. 15. Диалоговое окно регистрации, редактирования смеси компонентов **Register / Edit Stock Mixtures...**


В результате выполненных действий на экране должно появиться диалоговое окно регистрации, редактирования смеси компонентов **Register / Edit Stock Mixtures...** (рис. 15). Диалоговое окно регистрации, редактирования смеси компонентов **Register / Edit Stock Mixtures...** (рис. 15) состоит из двух частей. В левой части диалогового окна регистрации, редактирования смеси компонентов находится список смесей в базе данных программы (**Mixtures in Database**).

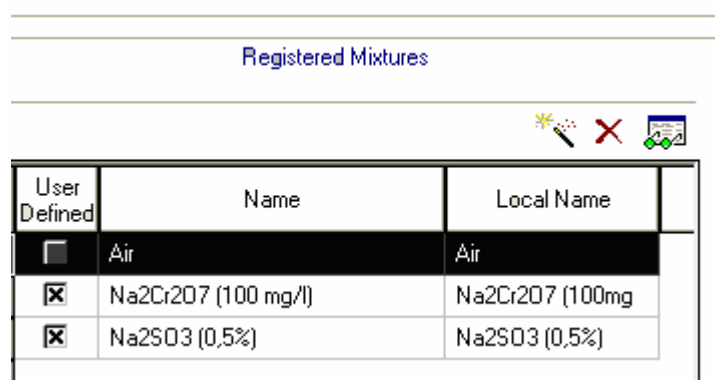
Список смесей в окне списка может сортироваться по имени (**Name**), торговому названию (**Trade Name**) и локальному имени (**Local Name**). В верхней левой части диалогового окна расположено окно выпадающего списка **Source DB**, представляющее собой список баз данных смесей в программе. В этом списке существует 3 базы. Первая база (**Designer**) является основной и содержит большую часть готовых смесей. Основную базу данных (**Designer**) нельзя редактировать и удалять из нее смеси. Две

другие базы смесей из списка **Source DB (User и DipPR)** являются пользовательскими, и смеси в этих базах можно редактировать и удалять.

В правой части диалогового окна **Register / Edit Stock Mixtures...** приводится список уже зарегистрированных смесей (**Registered Mixtures**). Если вы только начали работать над проектом, то там уже присутствует зарегистрированная смесь воздух (**Air**). Она всегда находится в списке зарегистрированных смесей и ее нельзя удалять!

Для того чтобы зарегистрировать готовую смесь из основной базы (**Designer**), необходимо из списка смесей выбрать смесь, которая участвует в технологическом процессе, или в латинском алфавите набрать первые буквы смеси. После того, как смесь выбрана в окне списка смесей, необходимо нажать на кнопку **Register**. В результате этих действий в списке зарегистрированных смесей (**Registered Mixtures**) появится выбранная вами смесь. Подобные действия необходимо повторить над всеми смесями, участвующими в моделируемом вами процессе.

Если в окне списка **Mixtures in Database** диалогового окна **Register / Edit Stock Mixtures...** вы не находите необходимой вам смеси, нужно ее зарегистрировать щелкнув мышкой по иконке  **Add a New Mixtures** (рис. 16).



User Defined	Name	Local Name
<input type="checkbox"/>	Air	Air
<input checked="" type="checkbox"/>	Na2Cr2O7 (100 mg/l)	Na2Cr2O7 (100mg)
<input checked="" type="checkbox"/>	Na2SO3 (0,5%)	Na2SO3 (0,5%)

Рис. 16. Иконка **Add a New Mixtures** над полем списка зарегистрированных смесей (**Registered Mixtures**)

В результате выполненных действий должно появиться диалоговое окно наименований новой смеси (**New Stock Mixtures Definition**) (рис. 17). Вы

должны заполнить три области этого диалогового окна (**New Stock Mixtures Definition**) (их нельзя оставить незаполненными!). Название (**Name**), торговая марка (**Trade Name**) и локальное имя (**Local name**) должны быть уникальными для готовой смеси.

Рис. 17. Диалоговое окно наименований новой смеси (**New Stock Mixtures Definition**)

После внесения данных необходимо нажать кнопку **ОК**. Нижняя часть диалогового окна (**New Stock Mixtures Definition**) (рис. 17) связана с инициализацией состава новой смеси. Если вы сделаете в нижней части диалогового окна (**New Stock Mixtures Definition**) в разделе **Default Property Values** выбор на значении  **Initialize to Zero (must be initialized by user later)**, то состав новой смеси при инициализации будет неизвестен (программе не будет указано, какие компоненты находятся в смеси, и какой их процентный состав).

Если же вы осуществите в нижней части диалогового окна (**New Stock Mixtures Definition**) в разделе **Default Property Values** выбор на значении  **Copy from another Mixture**, то состав новой смеси при инициализации будет скопирован из готовой смеси, указанной в окне выпадающего списка **Mixture**

**Name**, взятой из списка смесей баз данных программы ( **In Database**) или из списка зарегистрированных смесей в программе ( **List of Registered Mixture**) (рис. 17).

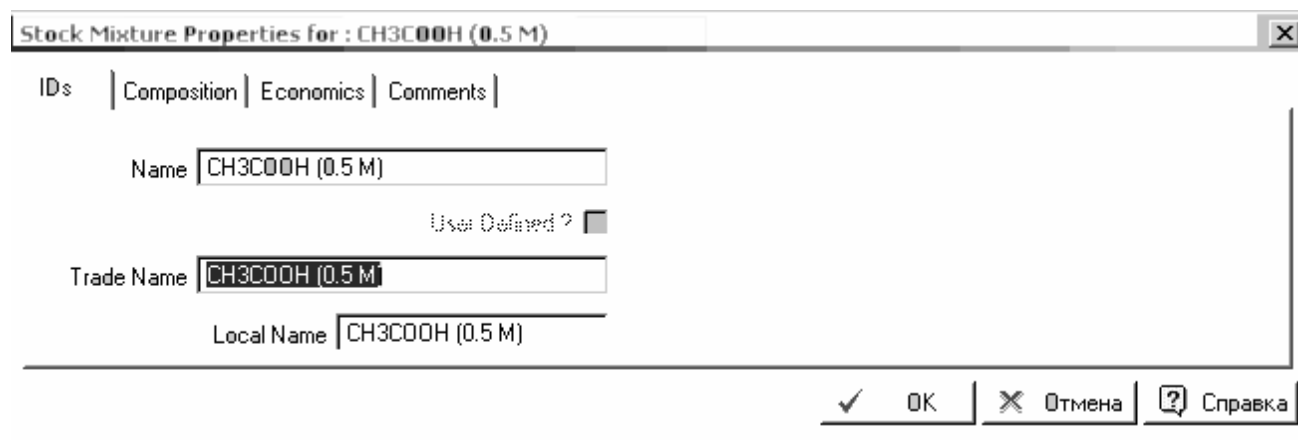



Рис. 18. Закладка наименований смеси (**IDs**) диалогового окна **Stock**

### **Mixtures Properties for:**

Если вам необходимо отредактировать состав зарегистрированной смеси, то нужно в поле списка **Registered Mixtures** диалогового окна регистрации, редактирования смеси компонентов **Register / Edit Stock Mixtures...** (рис. 15) выделить редактируемую смесь и щелкнуть по значку . В результате выполненных действий на экране появится диалоговое окно с закладками **Stock Mixtures Properties for:** с указанием наименования редактируемой смеси. Диалоговое окно **Stock Mixtures Properties for:** содержит закладки наименований смеси (**IDs**), состава смеси (**Composition**), экономических показателей (**Economics**) и комментариев (**Comments**). На закладке наименований смеси (**IDs**) можно редактировать торговую марку (**Trade Name**) и локальное имя (**Local name**) смеси (рис. 18).

На закладке состава смеси (**Composition**) (рис. 19) существуют три раздела: компоненты, зарегистрированные в проекте (**Available Ingredient**), состав компонентов смеси (**Ingredient Composition**) и порядок расчета плотности смеси (**Density**). В разделе компонентов, зарегистрированных в проекте (**Available Ingredient**), могут быть выбраны как чистые компоненты ( **Pure Components**), так и готовые смеси ( **Stock Mixtures**). Для внесения компонента в состав компонентов смеси (**Ingredient Composition**)

необходимо выбрать его в окне списка (**Available Ingredient**) и нажать



кнопку

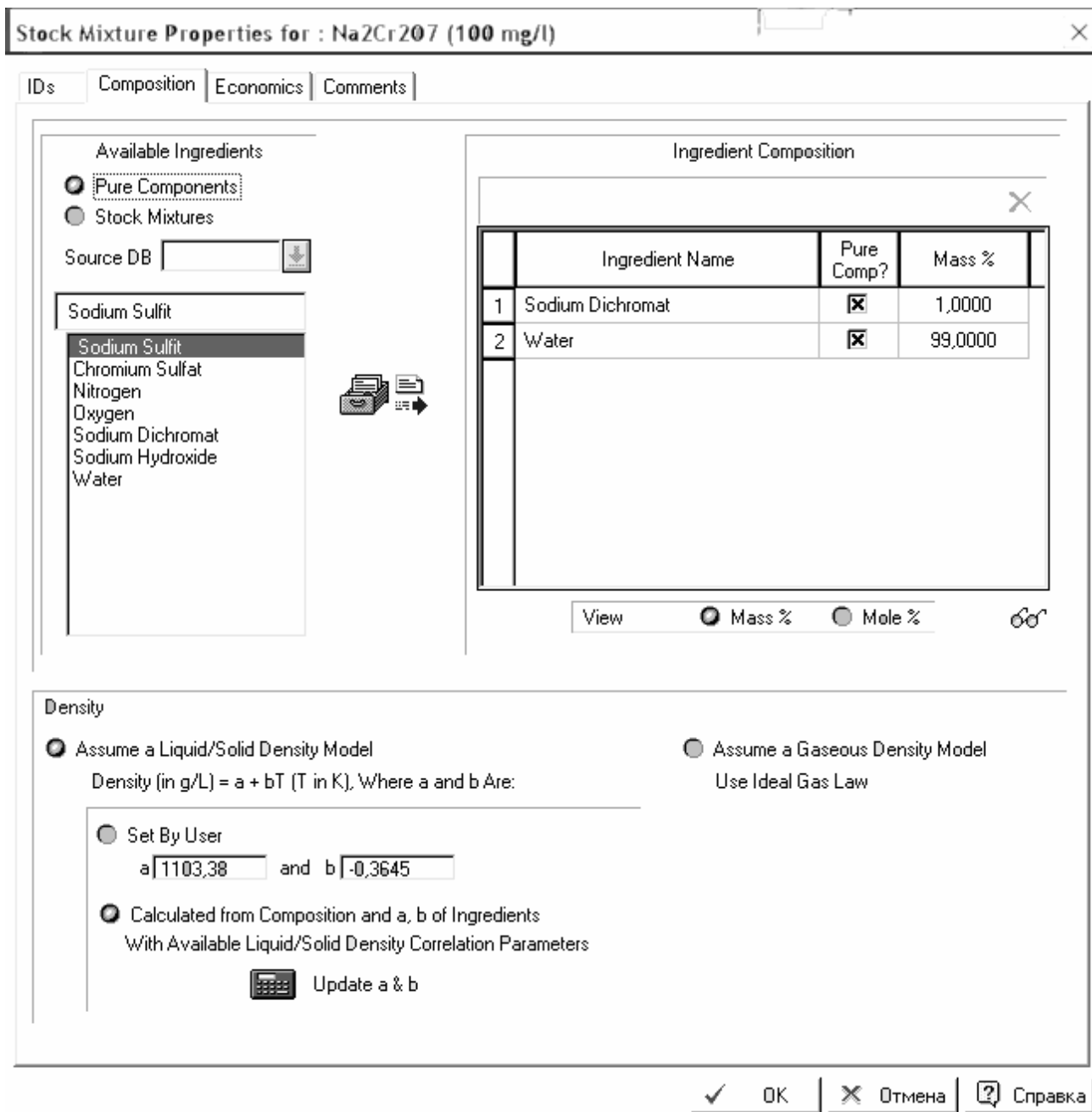


Рис. 19. Закладка состава смеси (**Composition**) диалогового окна **Stock**

### **Mixtures Properties for:**

Подобные действия необходимо повторить со всеми компонентами, которые составляют смесь. В столбике **Mass %** введите массовый процентный состав смеси или **Mole %** мольный процентный состав смеси. В разделе порядка расчета плотности смеси (**Density**) указывается, каким образом будет рассчитываться плотность смеси. Плотность для жидких и

твердых компонентов рассчитывается на основании модели плотности для жидкости или твердого вещества ( **Assume a Liquid/Solid Density Model**), определяемой пользователем ( **Set by User**) или на основании корреляционной модели ( **Calculated from Composition**). Плотность для газообразных смесей рассчитывается на основании модели плотности для газов ( **Assume a Gaseous Density Model**).

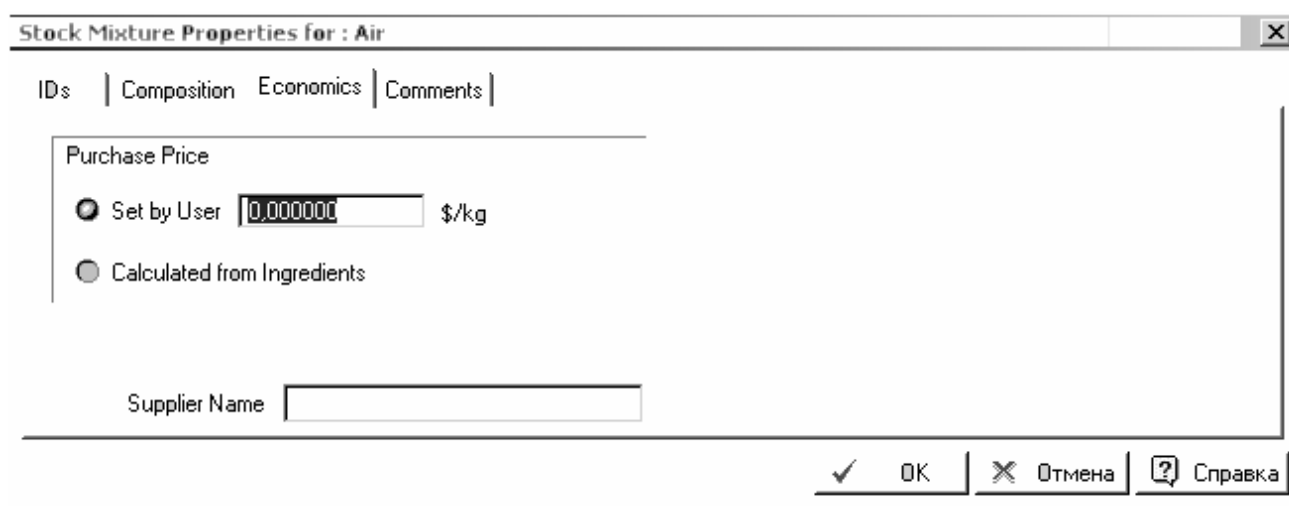


Рис. 20. Закладка экономических показателей (**Economics**) диалогового окна

### **Stock Mixtures Properties for:**

Закладка экономических показателей (**Economics**) (рис. 20) диалогового окна **Stock Mixtures Properties for:** позволяет ввести значения отпускной ( **Purchasing Price**) цены. Отпускная цена [\$/кг] (**Purchasing Price [\$/kg]**) используется в экономических вычислениях. Отпускная цена может быть также рассчитана на основании расчета стоимости компонентов смеси ( **Calculated from Ingredients**).

## **1.6. Типы процессов и размещение оборудования при моделировании в программе SuperPro Designer**

Далее рассматривается список всех типов процессов (выделенных в группы, как и в меню программы), поддерживаемых в настоящее время SuperPro Designer. Заголовки приводятся так же, как части подменю главного меню **Unit Procedures**.

## Процессы в сосудах (**Vessel Procedure**)

Процесс в реакторе с мешалкой (**In a Reactor**). Этот процесс моделирует набор операций, которые осуществляются в реакторе с мешалкой. Операции осуществляются последовательно, одновременно или относительно некоторой операции по времени.

Процесс в реакторе кристаллизации (**In a Seed Reactor**). Этот процесс моделирует набор операций, которые имеют место в реакторе кристаллизации. Операции осуществляются последовательно, одновременно или относительно некоторой операции по времени.

Процесс в реакторе ферментации (**In a Fermentor**). Этот процесс моделирует набор операций, которые имеют место в реакторе ферментации с мешалкой. Типичными операциями в ферменторе являются: загрузка питательных веществ, стерилизация, затравка, ферментация, передача к накопительному резервуару, очистка реактора и т.д.

Процесс в реакторе ферментации-кристаллизации (**In a Seed Fermentor**). Этот процесс моделирует набор операций, которые имеют место в реакторе ферментации-кристаллизации с мешалкой. Типичными операциями в ферменторе-кристаллизаторе являются: загрузка питательных веществ, стерилизация, затравка, ферментация, кристаллизация, передача к накопительному резервуару, очистка реактора и т.д..

Процесс в реакторе ферментации-аэрации (**In an Air-Lift Fermentor**). Этот процесс моделирует набор операций, которые имеют место в реакторе ферментации-аэрации. Типичными операциями в ферменторе-аэраторе являются: загрузка питательных веществ, стерилизация, затравка, ферментация, аэрация, передача к накопительному резервуару, очистка реактора и т.д..

Реакции, протекающие в реакторах непрерывного действия (**Continuous Reaction**).

Процессы для реакций, описываемых стехиометрией (**Stoichiometric**)

Процесс в реакторе идеального смешения (РИС) (**In a CSTR**)



моделирует ряд последовательных реакций, описанных стехиометрией, протекающих в реакторе идеального смешения в непрерывном режиме.

Процесс в реакторе идеального вытеснения (РИВ) (**In a PFR**) моделирует ряд последовательных реакций, описанных стехиометрией, протекающих в реакторе идеального вытеснения в непрерывном режиме.

Процесс в реакторе ферментации (**In a Fermentor**) моделирует ряд последовательных реакций биотрансформации, описанных стехиометрией, протекающих в реакторе-ферменторе с мешалкой, работающем в непрерывном режиме.

Процесс в реакторе ферментации-кристаллизации (**In a Seed Fermentor**) моделирует ряд последовательных реакций биотрансформации, описанных стехиометрией, протекающих в ферменторе-кристаллизаторе, работающем в непрерывном режиме.

Процесс в реакторе ферментации-аэрации (**In an Air-Lift Fermentor**) моделирует ряд последовательных реакций биотрансформации, описанных стехиометрией, протекающих в ферменторе-аэраторе, работающем в непрерывном режиме.

Процессы для реакций, описываемых кинетикой (**Kinetic**)

Процесс в реакторе идеального смешения (РИС) (**In a CSTR**) моделирует ряд реакций, описанных стехиометрией и кинетикой, происходящих одновременно или последовательно в РИС, работающем в непрерывном режиме.

Процесс в реакторе идеального вытеснения (РИВ) (**In a PFR**) моделирует ряд реакций, описанных стехиометрией и кинетикой, происходящих одновременно или последовательно в РИВ, работающем в непрерывном режиме.

Процесс в реакторе ферментации (**In a Fermentor**) моделирует ряд реакций биотрансформации, описанных стехиометрией и кинетикой, происходящих одновременно или последовательно в реакторе-ферменторе, работающем в непрерывном режиме.

Процесс в реакторе ферментации-кристаллизации (**In a Seed Fermentor**) моделирует ряд реакций биотрансформации, описанных стехиометрией и кинетикой, происходящих одновременно или последовательно в ферменторе-кристаллизаторе, работающем в непрерывном режиме.

Процессы с равновесными реакциями (**Equilibrium**)

Процесс в реакторе идеального смешения (РИС) (**In a CSTR**) моделирует ряд реакций, описанных стехиометрией и равновесными уравнениями, происходящими в РИС, работающем в непрерывном режиме.

Процессы в оборудовании по очистке сточных вод (**Environmental**)

Процессы биологической очистки в аэротенке- смесителе (**Well-Mixed Aerobic BioOxidation**) и аэротенке- вытеснителе (**Plug Flow Aerobic BioOxidation**) моделируют превращение (например, биологическое окисление, химическое окисление, гидролиз, фотолиз, нитрификация, сорбция, и т.д.) органических и других компонентов. Любое число реакций может быть определено со множеством кинетических параметров. Модель выполняет строгий расчет выбросов летучих органических соединений (VOC) для поверхности аэротенка.

Процесс сбраживания осадка в метантенке (**Anaerobic Digestion**) моделирует сбраживание осадка и других компонентов в анаэробных условиях.

Процесс очистки в биофильтре (**Trickling Filtration**) моделирует биотрансформацию органических соединений.

Процесс денитрификации (**Anoxic Reaction**) моделирует денитрификацию сточных вод в анаэробных условиях.

Процесс нейтрализации (**Neutralization**) моделирует нейтрализацию кислых и щелочных сточных вод. Реакция нейтрализации описывается стехиометрией.

Процесс окисления влажным кислородом воздуха (**Wet Air Oxidation**) моделирует превращение различных сточных вод в условиях окисления

кислородом воздуха и описывается стехиометрией.

Процесс сжигания осадка (**Incineration**) моделирует сжигание осадка сточной воды, опасных отходов (жидких или твердых), муниципальных твердых отходов. Главная цель модели - вычислить состав газовых выбросов при сжигании и оценить расход топлива для сжигания.

Процесс обработки сточных вод ультрафиолетовым излучением (**UV Radiation**) моделирует обеззараживание сточных вод с использованием ультрафиолетового излучения. Обычно используется в процессах очистки воды, но может применяться для превращения органических и других соединений.

#### Процессы подготовки затравки для биологических реакторов (**Inoculum Preparation**)

Процесс в съемном биореакторе (**In a Disposable Bioreactor**) моделирует набор операций, которые выполняются для подготовки затравки.

Процесс в цилиндрической бутылке (**In a Roller Bottle**) моделирует набор операций, которые проводят для подготовки затравки.

Процесс в Т-колбе (**In a T-Flask**) моделирует набор операций, которые осуществляют для подготовки затравки.

Процесс во встряхиваемой колбе (**In a Shake Flask**) моделирует набор операций, которые осуществляют при подготовке затравки.

Процесс в пробирке (**In a Test Tube**) моделирует набор операций, которые осуществляют для подготовки затравки.

#### Процессы фильтрации (**Filtration**)

Процесс микрофильтрации (периодический) (**Microfiltration (Batch)**) используется для разделения жидкой и твердой фазы (улавливаются частицы размером больше микрона). В биопроцессах микрофильтрация обычно используется для отделения клеток, обеззараживания питательных сред. Размеры пор мембран микрофильтра обычно колеблются от 0,1 до 0,45 микрон.

Непрерывный процесс микрофильтрации (подача и отсос)

**(Microfiltration (feed and bleed))** используется для разделения жидкой и твердой фазы (улавливаются частицы размером больше микрона) на заводах, которые требуют большой производительности (например, молокозаводы, производство напитков, станции очистки воды и т.д.).

Процесс ультрафильтрации (периодический) **(Ultrafiltration (batch))** используется для того, чтобы отделить от воды и других растворителей растворенные вещества с большой молекулярной массой и взвешенные вещества. В биотехнологии и пищевой промышленности ультрафильтрация, прежде всего, используется для того, чтобы концентрировать растворы протеина и отделить протеины от низкомолекулярных растворенных веществ. При очистке воды ультрафильтрация используется для того, чтобы отделить взвешенные и коллоидные частицы.

Непрерывный процесс ультрафильтрации (подача и отсос) **(Ultrafiltration (feed and bleed))** используется для того, чтобы отделить от воды и других растворителей растворенные вещества с большой молекулярной массой и взвешенные вещества на заводах, которые требуют большой производительности (например, молокозаводы, станции очистки воды и т.д.).

Процесс обратного осмоса (периодический) **(Reverse Osmosis (batch))** (RO) используется, главным образом, для того, чтобы извлечь ионы и растворенные вещества с большой молекулярной массой из малых объемов воды. Типичные примеры – это обессоливание воды и получение воды высшей степени очистки. В области биотехнологии фильтры RO использовались, чтобы сконцентрировать и очистить антибиотики.

Непрерывный процесс обратного осмоса (подача и отсос) **(Reverse Osmosis (feed and bleed))** (RO) используется, главным образом, для того, чтобы извлечь ионы и растворенные вещества с большой молекулярной массой из водных растворов на заводах большой мощности.

Процесс диафильтрации **(Diafiltration)** моделирует рабочие характеристики диафильтрующей мембраны. Процесс диафильтрации

предшествует операции периодического концентрирования.

Процесс фильтрации мертвой точки (**Dead End**) является обычно завершающим этапом фильтрации. В биологических процессах этот процесс используется после центрифугирования. При очистке сточной воды этот процесс обычно предшествует ультрафильтрации.

Процесс фильтрации в нутч- фильтре (**Nutsche**) моделирует фильтрацию, промывку осадка и его продувку. Нутч-фильтры обычно используются в фармацевтической промышленности и химии тонкого органического синтеза для того, чтобы отделить осажденный (или кристаллизованный) продукт или взвешенные вещества от раствора.

Процесс фильтрования в пластинчатом или рамном фильтре (**Plate & Frame**) моделирует фильтрацию и отмывку осадка для того, чтобы отделить взвешенные частицы от раствора. Пластинчатые или рамные фильтры широко используются в химическом производстве, пищевой промышленности и очистке сточных вод от взвешенных веществ.

Процесс фильтрования в барабанном вакуум фильтре (**Rotary Vacuum**) моделирует фильтрацию и непрерывный съем отмытого осадка во вращающемся барабанном вакуум фильтре (**RVF**). Процесс фильтрования в **RVF** широко используется в пищевой, биохимической, сельскохозяйственной и других отраслях промышленности. Барабанный вакуум- фильтр может функционировать непрерывно и имеет большую производительность.

Процесс фильтрования воздуха (**Air Filtration**) моделирует разделение частиц пыли и воздуха в порах материала.

Процесс фильтрования в ленточном фильтрпрессе (**Belt**) моделирует обезвоживание осадка. Материальный баланс процесса основан на вычислении влажности осадка.

Процесс фильтрования в фильтре с гранулированной загрузкой (**Granular Media**) моделирует непрерывное или полунепрерывное отделение взвешенных частиц для различных сред. Предусмотрена отмывка фильтра

перед операцией фильтрации.

Процесс фильтрования в рукавном фильтре (**Baghouse**) моделирует отделение взвешенных частиц от потока газа с использованием материала фильтра.

Процесс фильтрования в электроfiltре (**Electrostatic Precipitation**) моделирует рабочие характеристики электрофильтра. Электрофильтры обычно используются, чтобы отделить пыль или аэрозоль от газового потока (как правило из воздуха).

### Процессы центрифугирования (**Centrifugation**)

Процессы центрифугирования в центрифуге-декантере (**In a Decanter Centrifuge**), диско-укладочной центрифуге (**Disk-Stack**), в камерной центрифуге (**Bowl**) моделируют разделение сред Т-Ж или Ж-Ж. Разделение в этих центрифугах основано на разности плотностей двух фаз.

Процессы центрифугирования в корзиночной центрифуге (верхний выпуск) (**Basket (Top Discharge)**) и корзиночной центрифуге (нижний выпуск) (**Basket (Bottom Discharge)**) моделируют процессы фильтрации и центрифугирования, направленные на отделение взвешенных частиц от раствора. Могут быть также смоделированы отмывка и выгрузка отмытого осадка. Корзиночные центрифуги обычно используются в фармацевтической отрасли и химической отрасли тонкого органического синтеза, чтобы отделять от раствора осажденный или кристаллизуемый продукт.

Процесс центрифугирования в центрифуге «Centritech» (**Centritech**) моделирует центрифугу «Centritech», которая является системой разделения, разработанной для того, чтобы отделить хрупкие клетки млекопитающего от раствора. Центрифуга может размещаться на лабораторном столе или вытяжном шкафу и может использоваться, чтобы сконцентрировать клетки и очистить среду с целью рециркуляции клеток, отмывки, очистки и ректификации.

Процесс очистки воздуха в циклоне (**In a Gas Cyclone**) моделирует отделение пыли или аэрозоля от газового потока. Эта модель циклона

вычисляет скорость и состав выходных потоков, размеры циклона и его гидравлическое сопротивление, учитывая распределение частиц по радиусам или степень очистки для каждого компонента (пыли, аэрозоля) и скорость входного потока.

Процесс разделения в гидроциклоне (**In a Hydrocyclone**) моделирует отделение взвешенных частиц от жидкости. Гидроциклоны широко используются как замена центрифугирования при обогащении сырья, сортировке зерна и в других сельскохозяйственных производствах.

#### Процессы гомогенизации (**Homogenization**)

Процесс высоконапорной гомогенизации (**High-Pressure**) моделирует гомогенизацию продовольственных продуктов (например молока, масла) или разрушения клеток микроорганизмов.

Процесс кромсания-измельчения (**Bead Milling**) моделирует рабочие характеристики измельчителя, разрушающего микроорганизмы или гомогенизирующий порошок.

#### Процессы хроматографии (**Chromatography**)

Процесс гель-фильтрации (**Gel Filtration**) моделирует разделение макромолекул компонентов смеси. Процесс гель-фильтрации также известен как вытеснительная хроматография.

Процесс РВА обменной хроматографии (**PVA Chromatography Exchange**) моделирует любой тип адсорбционной хроматографии (например, ионный обмен, фазовый обмен и т.д.), который имеет место в насадочной колонне.

Процесс ЕВА хроматографии (**EVA Chromatography**) моделирует любой тип адсорбционной хроматографии (например, ионный обмен, фазовый обмен и т.д.), который имеет место в расширенной насадочной колонне.

Процесс ионного обмена (деминерализация) (**Ion Exchange (for Demineralization)**) моделирует ионный обмен для воды, отбираемой из водоема или скважины. При моделировании можно использовать

стандартные катиониты и аниониты, а также иониты смешанного типа.

Процессы адсорбции GAC (жидкости) (**GAC Adsorption (for liquid streams)**) и адсорбции GAC (газы) (**GAC Adsorption (for gaseous streams)**) моделируют рабочие характеристики насадочной адсорбционной колонны, через которую пропускают жидкость или газ. Гранулированный активированный уголь является адсорбентом по умолчанию. Цель моделирования состоит в том, чтобы максимально извлечь органические соединения из потока жидкости (воды) или газа (воздуха).

#### Процессы сушки (**Drying**)

Процесс сушки в полочной сушилке (**Tray**) моделирует сушку влажных материалов (фармацевтические препараты и краски).

Процесс сушки вымораживанием (**Freeze**) моделирует сушку чувствительных к высоким температурам материалов, таких как протеины и витамины. Сушка при температуре ниже нуля градусов (известна как лиофилизация) распространена в фармацевтической, биотехнологии и пищевой отраслях промышленности.

Процессы сушки в двухконусной сушилке (**Double Cone Drying**), сферической сушилке (**Sphere Drying**) и конической винтовой сушилке (**Cone Screw Drying**) моделируют сушку влажных материалов, таких как фармацевтические препараты и краски.

Процесс сушки в распылительной сушилке (**Spray**) моделирует сушку распылением, которая распространена в пищевой и биохимической отрасли промышленности. Сушка распылением предпочтительна для материалов, разлагающихся при высоких температурах, которые требуют коротких времен сушки и относительно короткого контакта с теплоносителем.

Процесс сушки в кипящем слое (**Fluid Bed**) моделирует рабочие характеристики сушилки кипящего слоя. Сушилки кипящего слоя используют тогда, когда необходимы короткие времена сушки.

Процесс сушки в барабанной сушилке (**Drum**) моделирует сушку в барабане при атмосферном давлении или под вакуумом.



Процесс сушки в барабанной вращающейся сушилке (**Rotary**). Этот процесс моделирует сушку во вращающейся барабанной сушилке. Вращательные барабанные сушилки имеют большую производительность и часто используются в химической и пищевой промышленности. Нагревание в сушилке может быть прямым (с использованием горячего потока газа) или косвенным (нагрев паром через кожух).

Процесс сушки в шахтной сушилке (**Sludge**). Процесс основан на определяемых пользователем рабочих характеристиках, которые используют для расчета материального баланса, состава выходящих потоков, энергетического баланса.

### Процессы седиментации (**Sedimentation**)

Процесс декантации (**Decanting**) моделирует разделение двух несмешивающихся жидких фаз.

Процесс отстаивания (**Clarification**) моделирует отстаивание твердых частиц в отстойнике. Степень очистки может быть рассчитана с использованием эмпирической модели или определена пользователем. Модель отстойника может рассчитать выделение с поверхности летучих органических соединений (VOC).

Процесс отстаивания в отстойнике с наклонным сепаратором (**IP Clarification**) моделирует перемещение твердых частиц и/или нефти. Степень очистки от взвешенных веществ и нефти может быть определен пользователем или рассчитан системой. Модель также выполняет вычисление выделений VOC.

Процесс уплотнения (**Thickening**) моделирует рабочие характеристики реактора загустителя разделения твердых тел и утолщения. Расчет загустителя основан на скорости подачи компонентов или теории потока. Модель также выполняет вычисление выделений VOC.

Процесс флотации (**Flotation**) моделирует флотатор, через который барботирует воздух, в результате чего взвешенные частицы или частицы нефти отделяются от жидкой фазы.

Процесс отделения нефти (**Oil Separation**) моделирует отделение нефти в маслоотделителе API.

### Процессы перегонки (**Distillation**)

Процесс перегонки (**Flash**) моделирует разделение летучих соединений в испарительном барабане.

Процесс периодической перегонки (**Batch**) моделирует сокращенный процесс перегонки. Относительная летучесть каждого компонента или определяется пользователем или рассчитывается системой (для идеальных растворов). Для каждой теоретической тарелки пользователь определяет коэффициент дефлегмации и степень начального наполнения дистиллята. Чтобы рассчитать время перегонки (для заданной мощности), пользователь определяет коэффициент парообразования в течение каждого периода.

Процесс непрерывной перегонки (**Continuous**) моделирует ректификацию летучих компонентов в дистилляционной колонне, используя сокращенную модель.

### Процессы экстракции (**Extraction**)

Процесс экстракции в экстракторе смешения-отстаивания (In a Mixer-Settler) моделирует разделение растворенных веществ между двумя жидкими фазами.

Процесс экстракции в дифференциальном экстракторе (**Differential**) моделирует разделение растворенных веществ между двумя жидкими фазами в экстракционной колонне.

Процесс экстракции в экстракторе-центрифуге (**Centrifugal**) моделирует разделение растворенных веществ между двумя жидкими фазами в отжимной центрифуге. Экстрактор-центрифуга выбирается, если необходимы малое время пребывания и закрытая емкость.

### Процессы фазового превращения (**Phase Change**)

Процесс конденсации (**Condensation**) моделирует выделение (разделение) летучих соединений из газового потока в конденсаторе.

Процесс высокоэффективного выпаривания (**Multi-Effect Evaporation**)

моделирует одноступенчатое и многоступенчатое непрерывное выпаривание в выпарном аппарате.

Процесс выпаривания в тонкой пленке (**Thin Film Evaporation**) моделирует парообразование в тонкой пленке.

Непрерывный процесс кристаллизации (**Crystallization (Continuous)**) моделирует кристаллизацию для непрерывного процесса.

Процесс абсорбции или адсорбции (**Absorption / Adsorption**) моделирует перемещение в жидкую фазу компонентов, которые присутствуют в газовом потоке. Модель может вычислить степень абсорбции.

Процесс эвапорации (**Stripping**) моделирует перемещение в газовую фазу компонентов, которые присутствуют в жидком потоке. Модель может вычислить степень эвапорации.

Процесс дегазации (**Degasification**) моделирует выделение CO<sub>2</sub> и других газов из воды (жидкого потока) с использованием вакуума. Процесс дегазации широко используется в подготовке воды высшей степени очистки.

#### Процессы хранения (**Storage**)

##### Периодические процессы хранения (**Batch**)

Периодические процессы хранения моделируются в резервуаре-смесителе (**Blending Tank**), резервуаре с плоским днищем (**Flat Bottom Tank**), резервуаре-приемнике (**Receiver**), горизонтальном резервуаре (**Horizontal Tank**), вертикальном резервуаре на опорах (**Vertical On Legs Tank**), горизонтальном резервуаре на колесах (**Batch Storage in Horizontal on Wheels Tank**), горизонтальном резервуаре-смесителе (**Batch Storage in Horizontal with Mixer Tank**), силосах (**Silo**). Другие операции могут быть реализованы как часть процедуры периодического хранения.

Периодическое хранение в разовой таре (**Batch Storage in Disposable Containers**) моделирует хранение материала в разовой таре (полиэтиленовая упаковка).

## Непрерывные процессы хранения (**Continuous**)

Непрерывные процессы хранения моделируются в резервуаре-смесителе (**Blending Tank**), резервуаре с плоским дном (**Flat Bottom Tank**), резервуаре-приемнике (**Receiver**), горизонтальном резервуаре (**Horizontal Tank**), вертикальном резервуаре на опорах (**Vertical On Legs Tank**), горизонтальном резервуаре на колесах (**Batch Storage in Horizontal on Wheels Tank**), горизонтальном резервуаре-смесителе (**Batch Storage in Horizontal with Mixer Tank**), силосах (**Silo**). Другие операции могут быть реализованы как часть процедуры периодического хранения.

Процесс хранения в бункере (**Hopper**) моделирует обработку непрерывного потока насыпных твердых тел.

Процесс усреднения (**Equalization**) моделирует рабочие характеристики резервуара-усреднителя. Модель рассчитывает объем резервуара-усреднителя, основываясь на данных зависимостей объемного, массового расходов или концентрации от времени.

Процесс в смесительном коллекторе (**Junction Box Mixing**) моделирует смешение потоков сточной воды перед ее подачей на очистную станцию. Модель выполняет расчет оборудования и вычисления выделений VOC.

## Процессы теплообмена (**Heat Exchange**)

Процесс нагрева (**Heating**) моделирует увеличение температуры (нагревание) периодического или непрерывного потока.

Процесс электрического нагрева (**Electric Heating**) моделирует нагревание непрерывного или периодического потока электричеством.

Процесс охлаждения (**Cooling**) моделирует уменьшение температуры непрерывного или периодического потока.

Процесс электрического охлаждения (**Electric Cooling**) моделирует охлаждение непрерывного или периодического потока электричеством.

Процесс теплообмена (**Heat Exchanging**) моделирует обмен теплотой между горячим и холодным потоком.

Процесс охлаждения в градирне (**Cooling in a Cooling Tower**)

моделирует непрерывное охлаждение теплой воды в градирне. Вода и воздух (поступающие непрерывно) контактируют в градирне и при частичном парообразовании температура воды уменьшается.

Процесс стерилизации нагревом (**Heat Sterilization**) использует кинетику гибели микроорганизмов и моделирует непрерывную дезинфекцию.

Процесс прокалки (**Frying**) может моделировать промышленную жарку чипсов и прокалку других продуктов.

#### Процессы смешения (**Mixing**).

##### Процессы смешения массовых расходов (**Bulk Flow**)

Процессы смешения массовых расходов с 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 потоками (**2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9-Stream**). Этот процесс может представить любую схему, которая смешивает от двух до девяти потоков массового расхода и не может быть смоделирована (нет необходимости моделировать более подробно).

Процесс выборочного смешения массовых расходов (**Custom**). Этот процесс может представить любую схему, которая смешивает два потока массового расхода, где одному из двух потоков (известного состава) позволяют принять любую величину, чтобы на выходе было соответствующее значение.

Процесс приготовления смеси (**Mixture Prep**) моделирует интеллектуальный смеситель, который автоматически изменяет параметры потоков на входе (которых может быть до 5) на основании требований к составу выходного потока. Модель интеллектуального смесителя может обрабатывать запросы с использованием обратной связи от оборудования, находящегося после интеллектуального смесителя.

Процесс смешения (**Tumble**) моделирует периодическое смешение насыпных твердых тел в опрокидывающемся смесителе.

##### Процессы смешения отдельных потоков (**Discrete Flow**)

Процесс смешения с 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 потоками (**2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9-Stream**) может представить любую схему, которая смешивает два (три и т.д.)

отдельных потока, и не может быть смоделирована (или нет необходимости, чтобы моделировать более подробно).

### Процессы разделения (**Splitting**)

#### Процессы с разделением массового расхода (**Bulk Flow**)

Процессы разделения массового расхода с 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 выходами (**2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9-Way**). Этот процесс может представить любую схему, которая разделяет два (три и т.д.) потока массового расхода и не может быть смоделирована (или нет необходимости, чтобы моделировать более подробно).

Процесс выборочного разделения массового расхода (**Custom**) представляет разделение потока на два, когда процент разделения не установлен заранее, но настроен в соответствии с программой удовлетворить одному из требований нескольких пользователей, связанных с процессом разделения.

Процесс разделения массового расхода с 3 путями распределения потока (**3 Way Flow Distribution**), 5 путями распределения потока (**5 Way Flow Distribution**), 10 путями распределения потока (**10 Way Flow Distribution**) может представить любую схему, которая разделяет поток до трех (пяти, десяти) потоков массового расхода. Массовый расход потока определен пользователем или находящимся далее по схеме процессом.

#### Процессы с разделением отдельного потока (**Discrete Flow**)

Процессы разделения отдельного потока с 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 выходами (**2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9-Way**) могут представить любую схему, которая разделяет поток на два (три и т.д.) отдельных потока и не может быть смоделирована (нет необходимости моделировать более подробно).

#### Процессы разделения состава потока (**Component Flow**)

Процессы разделения состава потока с 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 выходами (**2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9-Way**) могут представить любую схему, которая разделяет два (три и т.д.) потока массового расхода на базисе определенного компонента. Эти процессы могут использоваться, чтобы моделировать любую модель

разделения, которая не может быть смоделирована (нет необходимости моделировать более подробно).

#### Процессы с изменением размеров материала (**Size Reduction**)

Процесс дробления (сыпучих) (**Grinding (bulk)**) моделирует измельчение (уменьшение размеров) насыпных твердых тел. Процесс дробления (предметов) (**Grinding (discrete)**) моделирует измельчение (уменьшение размеров) отдельных твердых предметов. Процесс измельчения (сыпучих) (**Shredding (bulk)**) моделирует мельницу для насыпных твердых тел. Процесс измельчения (предметов) (**Shredding (discrete)**) моделирует мельницу для отдельных твердых предметов.

#### Процессы формования и упаковки (**Formulation & Packaging**)

Процесс экструзионного формования (**Extrusion**) моделирует формование полимерных смол. Этот процесс также можно применить к экструзионному формованию других продуктов. Процесс формования прессованием (**Blow Molding**) моделирует прессование полимерных смол и других пластмассовых предметов. Процесс литья под давлением (**Injection Molding**) моделирует литье под давлением полимерных смол для формирования пластмассовых предметов.

Процесс обрезки (**Trimming**) моделирует отрезку части материала от прессуемого предмета.

Процесс заполнения (**Filling**) моделирует заполнение емкости определенным количеством сыпучего материала.

Процесс сборки (**Assembly**) моделирует сборку нового отдельного объекта из комбинации двух других отдельных объектов.

Процесс печати (**Printing**) моделирует расчет количества чернил, которые используются, чтобы напечатать кое-что на отдельном объекте.

Процесс этикетирования (**Labeling**) моделирует прикрепление ярлыка на отдельном объекте. Процесс упаковки (**Boxing**) моделирует упаковывание отдельных объектов. Процесс таблетирования (**Tableting**) моделирует таблетирование насыпного твердого материала в таблетки или любые другие

отдельные объекты.

Процессы транспортировки на ближние расстояния (**Transport (near)**).

Процессы перекачки жидкостей (**Liquids**)

Процесс перекачки жидкости (**CF Pump**) моделирует работу центробежного насоса. Процесс перекачки жидкости (**Gear Pump**) моделирует работу шестеренчатого насоса. Процесс перекачки жидкости (**Diaphragm Pump**) моделирует работу диафрагменного насоса.

Процессы транспортировки газов (**Gases**)

Процесс транспортировки газа (**Compressor**) моделирует работу центробежного компрессора. Процесс транспортировки газа (**Fan**) моделирует работу центробежного вентилятора.

Процессы транспортировки твердых тел (**Solids by**)

Процесс транспортировки твердых тел (**Belt Conveyor (bulk)**) моделирует перенос насыпных твердых тел ленточным конвейером.

Процесс транспортировки твердых тел (**Belt Conveyor (discrete)**) моделирует перенос отдельных предметов ленточным конвейером.

Процесс транспортировки твердых тел (**Pneumatic Conveyor (bulk)**) моделирует перенос насыпных твердых тел пневматическим транспортером.

Процесс транспортировки твердых тел (**Pneumatic Conveyor (discrete)**) моделирует перенос отдельных предметов пневматическим транспортером.

Процесс транспортировки твердых тел (**Screw Conveyor (bulk)**) моделирует перенос насыпных твердых тел шнековым конвейером.

Процесс транспортировки твердых тел (**Screw Conveyor (discrete)**) моделирует перенос отдельных предметов шнековым конвейером.

Процесс транспортировки твердых тел (**Bucket Elevator (bulk)**) моделирует подъем (вертикальный перенос) насыпных твердых тел ковшовым элеватором.

Процесс транспортировки твердых тел (**Bucket Elevator (discrete)**) моделирует подъем (вертикальный перенос) отдельных предметов ковшовым элеватором.



Процессы транспортировки на дальние расстояния (**Transport (far)**).

Процессы транспортировки по земле (**by Land**)

Процесс транспортировки (**Truck**) моделирует транспортировку сыпучего материала грузовиком. Процесс транспортировки (**Truck (discrete)**) моделирует транспортировку отдельных объектов грузовиком. Процесс транспортировки (**Train**) моделирует транспортировку сыпучего материала и отдельных объектов поездом.

Процесс транспортировки морским путем (**by Sea**)

Процесс транспортировки (**by Sea**) моделирует транспортировку сыпучего материала и отдельных объектов судном.

Процесс транспортировки воздушным путем (**by Air**)

Процесс транспортировки (**by Air**) моделирует транспортировку отдельных объектов самолетом.

Процессы регулирования расхода (**Pressure Drop (Valves)**)

Процесс (**Gate Valve(Liquids)**) моделирует снижение давления жидкости задвижкой. Процесс (**Globe Valve(Liquids)**) моделирует регулирование потока перекачиваемой жидкости шаровым краном. Процесс (**Butterfly Valve(Liquids)**) моделирует регулирование потока перекачиваемой жидкости вентилем.

Процессы регулирования расхода газа (**Gas Flow**)

Процесс (**Gate Valve(Liquids)**) моделирует снижение давления газа задвижкой. Процесс (**Globe Valve(Gases)**) моделирует регулирование потока перекачиваемого газа шаровым краном. Процесс (**Butterfly Valve(Gases)**) моделирует регулирование потока перекачиваемого газа вентилем.

Процессы в универсальном боксе (**Generic Boxes**).

Непрерывные процессы (**Bulk Continuous**)

Процесс в универсальном боксе «1x1 Пропустить» (**1x1 Pass Through**) может использоваться для моделирования процессов, которые недоступны в текущей версии SuperPro Designer.

Процесс в универсальном боксе «1x1 Непрерывный процесс и реакция»

**(1x1 Continuous Reaction)** может моделировать превращение веществ (реакции) или простой проход через шаг.

Процесс в универсальном боксе «1x2 Непрерывный процесс и реакция-разделение» (**1x2 Continuous Reaction Separation**), «2x2 Непрерывный процесс и реакция-разделение» (**2x2 Continuous Reaction Separation**), «3x2 Непрерывный процесс и реакция-разделение» (**3x2 Continuous Reaction Separation**) может моделировать превращение веществ (реакции) или простой проход через шаг или разделение потока.

#### Периодические процессы (**Bulk Batch**)

Периодический процесс в «1x1 Периодическом универсальном блоке» (**1x1 Batch Generic Box**), «3x3 Периодическом универсальном блоке» (**3x3 Batch Generic Box**), «5x5 Периодическом универсальном блоке» (**5x5 Batch Generic Box**) и «10x10 Периодическом универсальном блоке» (**10x10 Batch Generic Box**) может использоваться для моделирования процессов, которые недоступны в текущей версии SuperPro Designer.

#### Процессы над отдельными объектами (**Discrete**)

Процесс «проход через» (**Pass Through**) не выполняет композиционных превращений над отдельными объектами, а просто позволяет отдельным объектам проходить через него. Может быть полезен при моделировании шагов обработки, которые не осуществляют физико-химических превращений, но все же имеют некоторую стоимость (например, осмотр, взвешивание и т.д.).

Процесс «От насыпного к единичному» (**Bulk to Discrete**) преобразовывает сыпучий материал в отдельные объекты. Может быть полезен при моделировании определенного состава продукта и упаковочных операциях (например, формирование плиток шоколада из расплава шоколада).

Процесс «От единичного к насыпному» (**Discrete to Bulk**) преобразовывает отдельные объекты в поток сыпучего материала. Может быть полезен при моделировании операций рециркуляции сырья (например,

рециркуляция резиновой крошки, отходов пластмассы и стеклобоя).

Для размещения оборудования в главном меню программы **Unit Procedures** выберите нужный процесс и в открывшемся выпадающем меню выберите нужный реактор (рис. 21). После выполненных действий у курсора мыши появляется надпись **add step**.

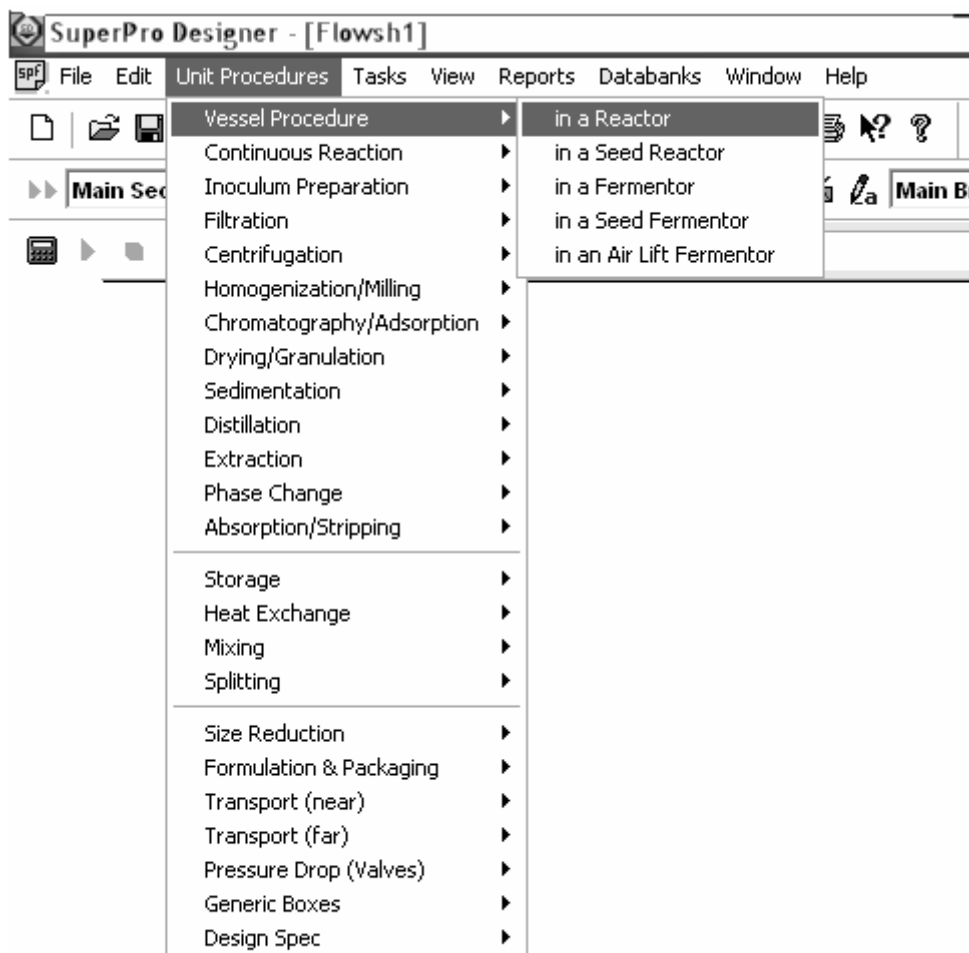


Рис. 21. Меню **Unit Procedures** для выбора процесса и реактора и размещения его в проекте

Для размещения выбранного аппарата в окне моделирования щелкните левой клавишей мыши на поле программы. В окне моделирования будет помещен выбранный аппарат. Программа автоматически присваивает размещаемому вами оборудованию уникальный номер аппарата (например **V-102**) и уникальный номер процесса, который протекает в оборудовании (например **P-1**). Назначенные программой уникальные номера обычно размещаются под оборудованием в поле моделирования программы.

Описанные выше действия по размещению оборудования надо повторить над всем оборудованием, которое будет участвовать в процессе моделирования.

### 1.7. Подвод к оборудованию технологических потоков и соединение оборудования в технологическую схему в программе SuperPro Designer

После размещения оборудования необходимо подвести к нему входные и выходные технологические потоки, а также соединить оборудование технологическими потоками в единую технологическую схему. Для этого на панели быстрого меню программы нажимаем значок **Connect Mode** (рис.22).

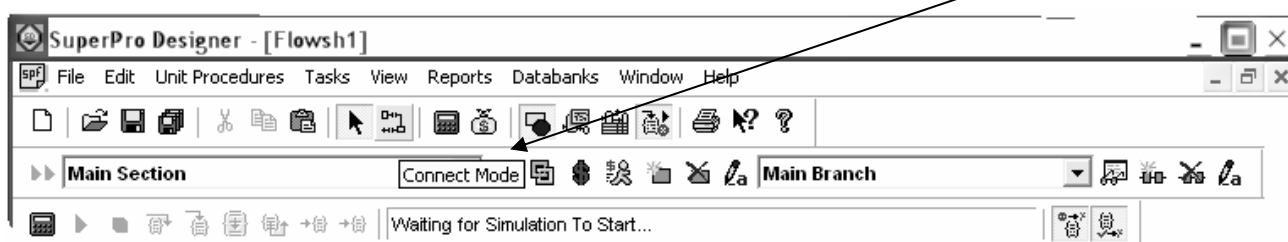


Рис. 22. Переход в режим (**Connect Mode**) соединения оборудования технологическими потоками в технологическую схему

У курсора мыши, когда вы опускаете его в окно моделирования, где вами размещено оборудование, появляется метка **add stream**. Для того чтобы расставить входные потоки на входе в аппарат на некотором расстоянии от аппарата, надо сделать щелчок мышью по полю окна моделирования. Метка **add stream** исчезнет, но от курсора мыши будет откладываться линия, которую необходимо вести к входному штуцеру аппарата. Для того чтобы сделать изгиб технологического потока под углом 90 градусов, надо в месте изгиба щелкнуть один раз левой кнопкой мыши и продолжить далее линию технологического потока. Когда линия технологического потока совпадет со штуцером оборудования, необходимо сделать двойной щелчок мышью. При этом начало потока обозначится кружочком и уникальным номером (например **S-101**), который программа автоматически присваивает этому потоку (рис. 23). Для технологических потоков, выходящих из оборудования, технологическую линию надо вести от штуцера аппарата к месту ее окончания. В месте окончания потока надо сделать двойной щелчок мышью.

Если необходимо соединить два аппарата, то технологический поток проводится аналогичным образом, как описано выше, от штуцера одного аппарата к штуцеру другого аппарата.

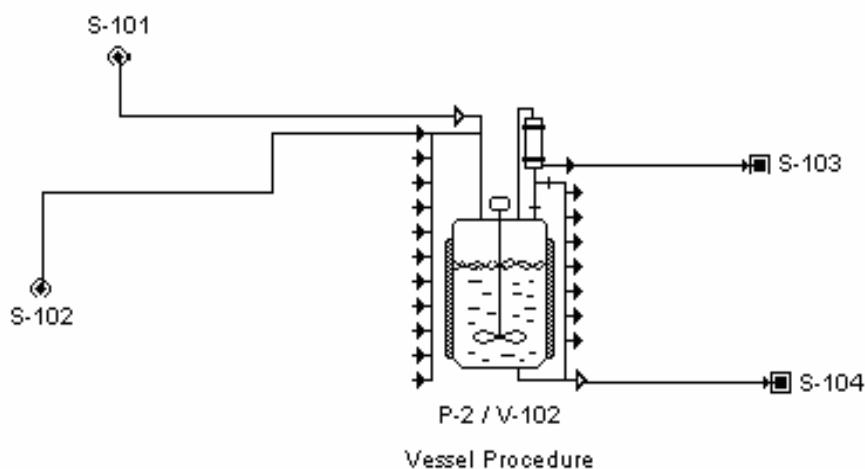


Рис. 23. Аппарат с подведенными к нему технологическими потоками

### 1.8. Инициализация входных технологических потоков в программе SuperPro Designer

После того, как оборудование соединено технологическими потоками, необходимо инициализировать входные технологические потоки. Это необходимо для того, чтобы определить компонентный состав технологического потока на входе в оборудование, его параметры (температуру, концентрацию, давление и т.д.). Для этого нужно совместить курсор мыши с линией соответствующего входного потока и правой клавишей мышки открыть всплывающее меню (рис. 24). В открывшемся всплывающем меню выберите **Simulation Data...** и откройте его щелчком мыши.

После выполненных действий появится диалоговое окно с закладками **Stream** инициализации входного потока (рис. 25). После надписи **Stream** обычно указывается номер инициализируемого потока (например **S-101**) и в скобках для какого процесса он является входным (**INPUT→P-1**). Диалоговое окно **Stream** инициализации входного потока имеет закладки, определяющие состав смеси и ее параметры (**Composition, etc.**), физические

свойства потока (**Physical State**), токсикологические свойства потока, определяющие его воздействие на окружающую среду (**Env.Properties**), и закладка комментариев (**Comments**).

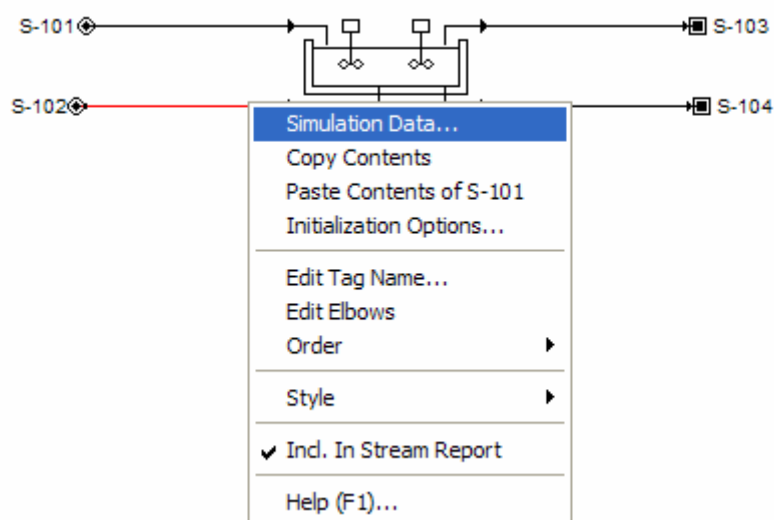



Рис. 24. Всплывающее меню инициализации технологического потока

Закладка, определяющая состав смеси и параметры потока (**Composition, etc.**) диалогового окна с закладками **Stream**, содержит три раздела. В левой части окна содержится раздел **Registered Ingredient** зарегистрированных в программе компонентов ( **Components**) и готовых смесей ( **Stock Mixtures**). В правой части диалогового окна содержится раздел **Composition**, содержащий список компонентов, составляющих технологический поток. В начале этот список пуст, но затем в него нужно внести компоненты или смеси, которые должны присутствовать в этом потоке в соответствии с описанием технологии. Для этого в разделе списка **Registered Ingredient** необходимо выбрать компонент ( **Components**) или смесь ( **Stock Mixtures**) и кнопкой  переместить его в список раздела **Composition**. Таким же образом включите в раздел **Composition** все компоненты потока.

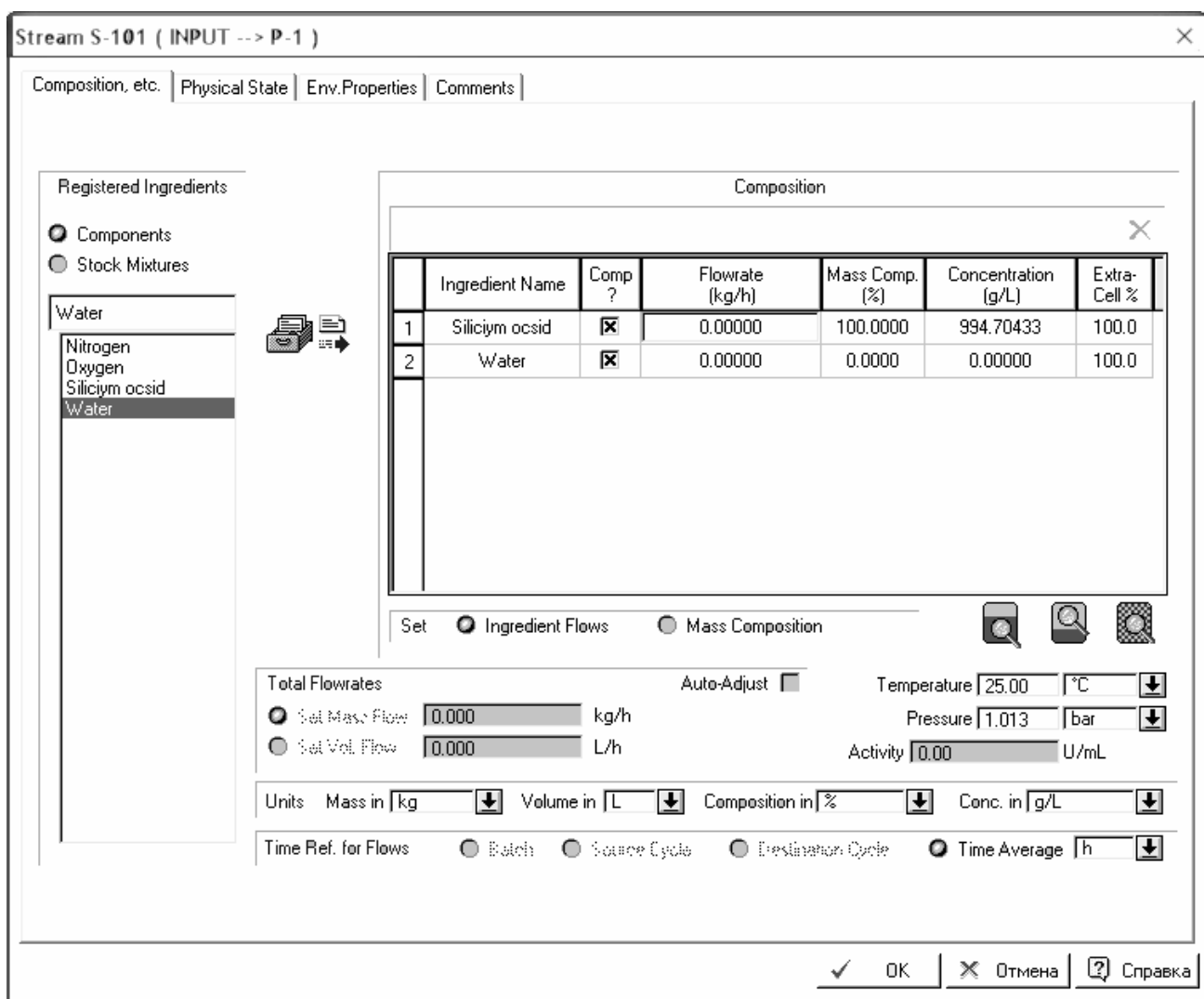


Рис. 25. Закладка параметров потока (**Composition, etc.**) диалогового окна **Stream**

Таблица списка раздела **Composition** содержит столбцы названия (**Ingredient Name**), скорости подачи (кг/ч) (**Flowrate**), массового содержания (**Mass Comp.**) (%) и концентрации (г/л) (**Concentration**) компонента. После регистрации компонента в таблице списка раздела **Composition** вы можете ввести скорости подачи (**Flowrate**) (кг/ч) или массовое содержание (**Mass Comp.**) (%) компонента, исходя из задания. Порядок ввода определяется выбором  **Ingredient Flows** или  **Mass Composition**. Остальные столбцы вычисляются автоматически. В нижней части закладки параметров потока (**Composition, etc.**) диалогового окна **Stream** содержатся сведения об общем расходе потока (**Total Flowrate**): массовом ( **Set Mass Flow**) (кг/ч) или объемном ( **Set Vol Flow**) (л/ч). В нижней части диалогового окна **Stream**

можно задать температуру (°C) (**Temperature**) и давление (бар) (**Pressure**) потока, а также единицы размерностей задаваемых величин (**Units**) для массы (**Mass in**), объема (**Volume in**), состава потока (**Composition in**) и концентрации компонентов в потоке (**Conc. in**).

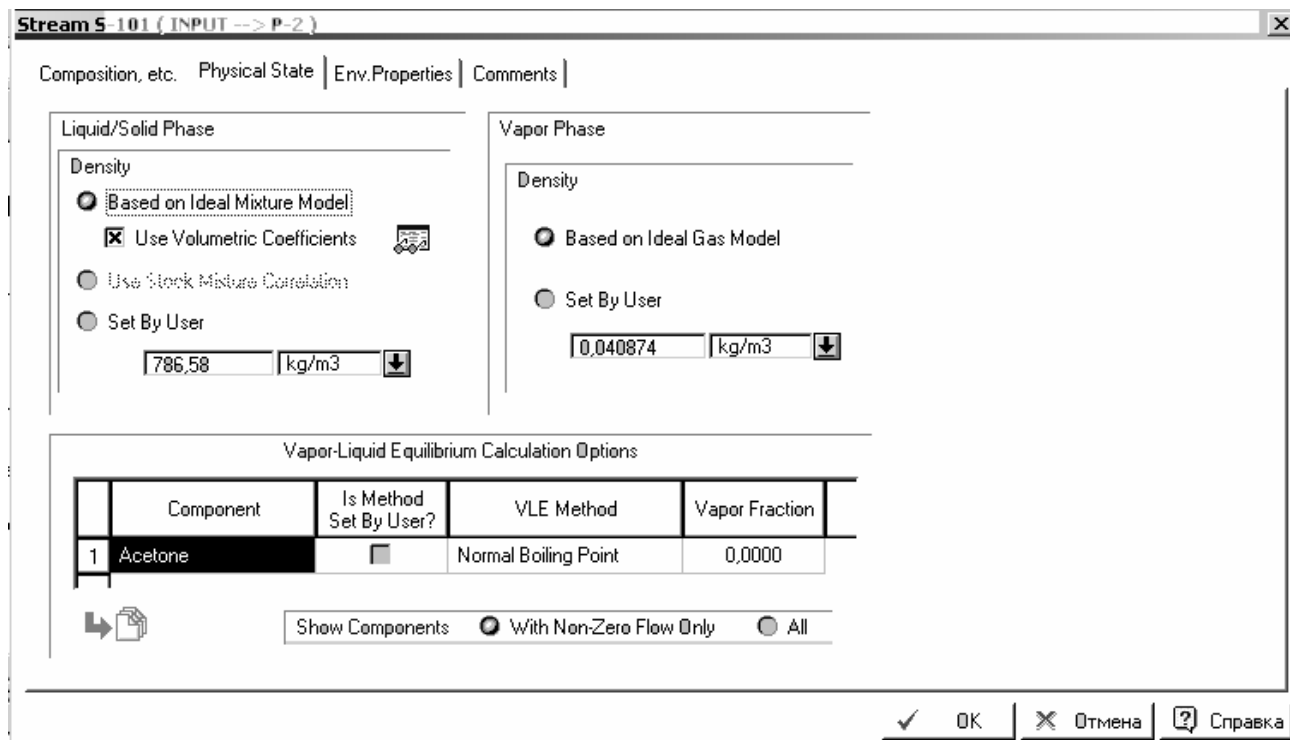


Рис. 26. Закладка физических свойств потока (**Physical State**) диалогового окна **Stream**

Закладка физических свойств потока (**Physical State**) диалогового окна **Stream** (рис. 26) содержит сведения о порядке расчета программой свойств потока для жидкой (**Liquid / Solid Phase**) и газовой фазы (**Vapor Phase**). Плотность потока определяется на основе модели идеальной смеси (**Based on Ideal Mixture Model**) с использованием объемных коэффициентов (**Use Volumetric Coefficients**) для жидкости или на основе модели идеального газа (**Based on Ideal Gas Model**) для газа на основе корреляции состава смеси (**Use Stock Mixture Correlation**) или задается пользователем (**Set by User**). Таблица расчета равновесия жидкость-газ (**Vapor-Liquid Equilibrium Calculation Options**) позволяет определить порядок расчета парциальных давлений компонентов смеси. Закладка токсикологических свойств потока



(**Env.Properties**) диалогового окна **Stream** (рис. 27) содержит общие сведения о токсикологии потока (см. пояснения к рис. 10 раздела 1.3).

Stream S-101 ( INPUT --> P-2)

Composition, etc. | Physical State | **Env.Properties** | Comments

Concentrations		Daily Throughputs	
<b>Carbon</b>		<b>Carbon</b>	
TOC	487678,63590 mg C / L	TOC	58,93069 kg C / day
<b>Phosphorus</b>		<b>Phosphorus</b>	
TP	0,00000 mg P / L	TP	0,00000 kg P / day
<b>Calcium</b>		<b>Calcium</b>	
CaCO3	0,00000 mg CaCO3 / L	CaCO3	0,00000 kg CaCO3 / day
<b>Nitrogen</b>		<b>Nitrogen</b>	
TKN	0,00000 mg N / L	TKN	0,00000 kg N / day
NH3	0,00000 mg N / L	NH3	0,00000 kg N / day
NO3 - NO2	0,00000 mg N / L	NO3 - NO2	0,00000 kg N / day
<b>Oxygen</b>		<b>Oxygen</b>	
COD	1733618,89278 mg O / L	COD	209,48911 kg O / day
ThOD	1733618,89278 mg O / L	ThOD	209,48911 kg O / day
BODu	1542920,81457 mg O / L	BODu	186,44531 kg O / day
BOD5	1388628,73312 mg O / L	BOD5	167,80078 kg O / day
<b>Solids</b>		<b>Solids</b>	
TS	0,00000 mg solids / L	TS	0,00000 kg solids / day
TSS	0,00000 mg solids / L	TSS	0,00000 kg solids / day
VSS	0,00000 mg solids / L	VSS	0,00000 kg solids / day
DVSS	0,00000 mg solids / L	DVSS	0,00000 kg solids / day
TDS	0,00000 mg solids / L	TDS	0,00000 kg solids / day
VDS	0,00000 mg solids / L	VDS	0,00000 kg solids / day
DVDS	0,00000 mg solids / L	DVDS	0,00000 kg solids / day

✓ OK   ✗ Отмена   ? Справка

Рис. 27. Закладка токсикологических свойств потока (**Env.Properties**) диалогового окна **Stream**

## 1.9. Инициализация оборудования в программе SuperPro Designer

На этом этапе нужно ввести данные, которые позволят оборудованию выполнять заданные функции в моделируемом технологическом процессе. В зависимости от того, какой разрабатывается процесс (периодический или непрерывный), действия по инициализации оборудования могут различаться. В периодических процессах для одной единицы оборудования характерно несколько выполняемых операций. Так, например, для реактора идеального смешения, работающего в периодическом режиме, характерны следующие операции:

- загрузка одной или нескольких реакционных смесей в реактор (**CHARGE**);

- перемешивание смеси компонентов в реакторе (**AGITATE**);
- нагрев смеси в реакторе (**HEAT**);
- реагирование компонентов смеси между собой с протеканием химических реакций (**REACT**);
- перекачка прореагировавшей смеси в следующий по технологической цепочке реактор (**TRANSFER-OUT**).

Для этого правой кнопкой мышки нужно щелкнуть по инициализируемому аппарату и в открывшемся всплывающем меню необходимо выбрать **Add / Remove Operations...**(рис. 28).

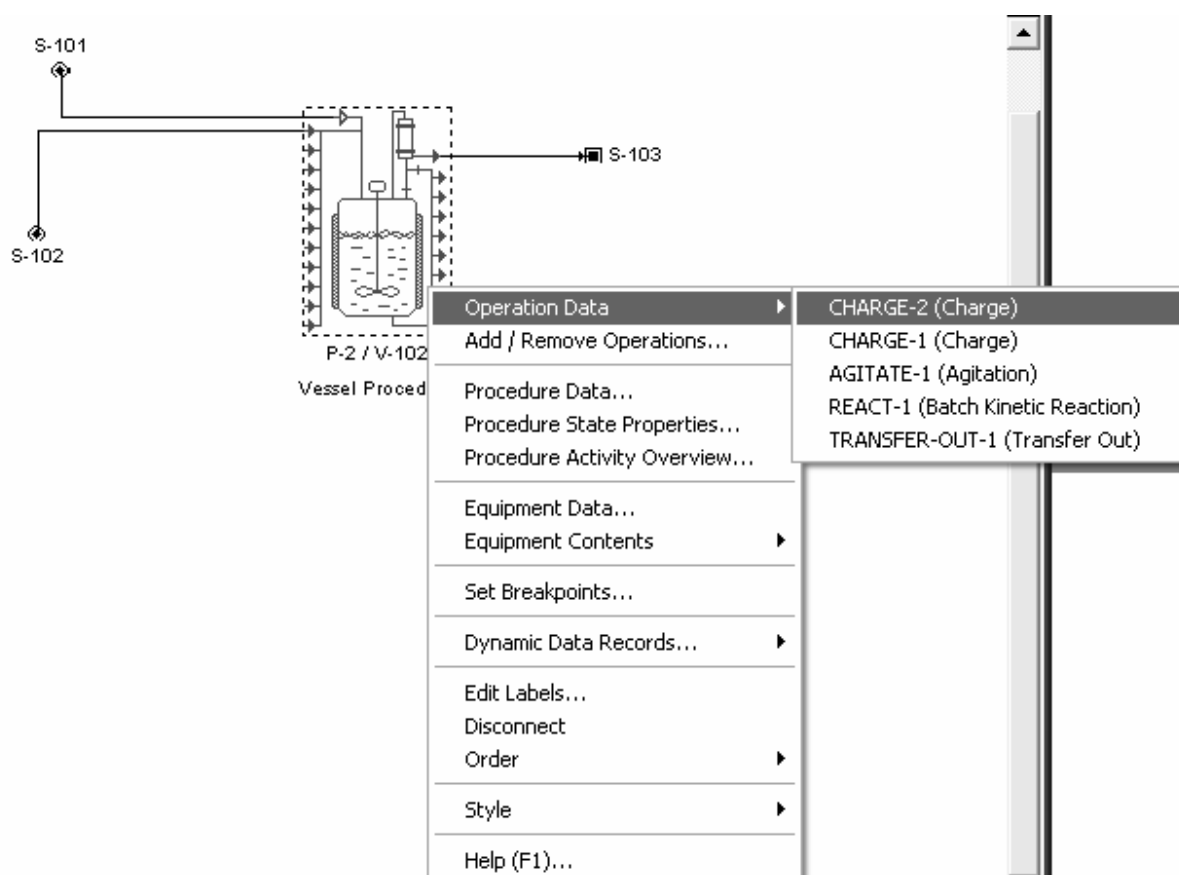



Рис. 28. Всплывающее меню добавить или удалить операции (**Add / Remove Operations...**) для моделируемого оборудования

В результате выполненных действий появляется диалоговое окно **Operation Sequence for Procedure:** (рис. 29). Диалоговое окно **Operation Sequence for Procedure:** имеет 2 раздела. Слева в диалоговом окне расположен раздел списка операций, доступных для выполнения в реакторе (**Available Operations**), а справа расположен раздел списка операций,

выполняемых в реакторе (**Operations Sequence**). Подробное объяснение названий из списка операций, доступных для выполнения в реакторе, приведено в табл. 1. Раздел списка операций, выполняемых в реакторе (**Operations Sequence**), при первом вызове диалогового окна может быть минимален или операции там могут вовсе отсутствовать. Задача студента заключается в том, чтобы определить, какие операции потребуются для осуществления процесса в данной единице оборудования. После того как список операций определен, необходимо их последовательно перенести в раздел списка операций, выполняемых в реакторе (**Operations Sequence**) нажатием иконки .

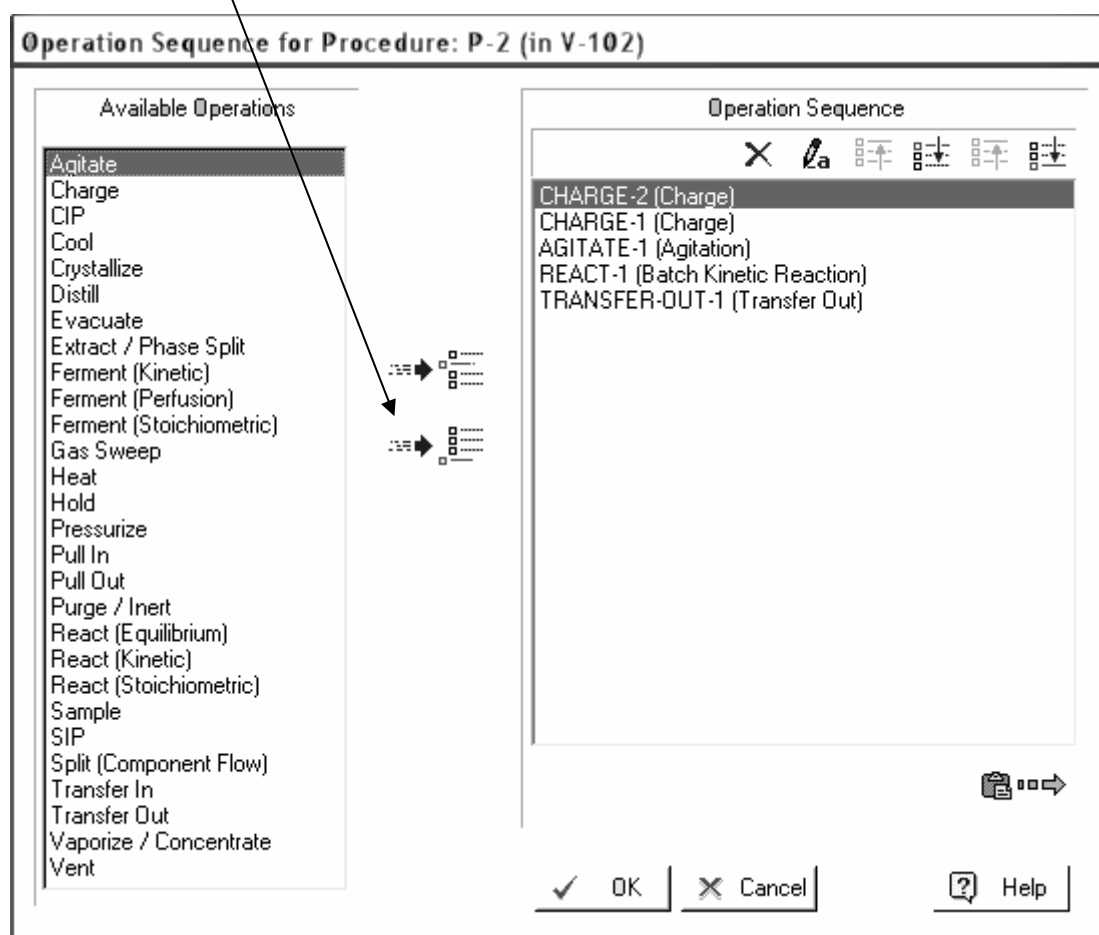


Рис. 29 Диалоговое окно **Operation Sequence for Procedure:** доступных для выполнения операций в единице оборудования

Для непрерывного процесса круг операций, осуществляемых в единице оборудования, обычно очерчивается только одной операцией, для которой и предназначен данный реактор, для периодического процесса предусмотрен в

программе набор операций (реакция химического превращения, кристаллизации, выпаривания и т.д. см. табл. 1).

Таблица 1

Операции, выполняемые в аппарате

Смысл выполняемой операции	
Charge	Наполнить реактор смесью
Agitate	Перемешивать смесь в реакторе
Cool	Охладить смесь в реакторе
Crystallize	Кристаллизовать компонент смеси в реакторе
Distill	Осуществить перегонку смеси в реакторе
Evacuate	Создать вакуум в реакторе
Extract / Phase split	Экстракция, разделение фаз в реакторе
Gas sweep	Продувка реактора газом
Heat	Нагрев смеси в реакторе
Hold	Занять объем реактора
Pull in	Опустить полупродукт (продукт) в реактор
Pull out	Вынуть полупродукт (продукт) из реактора
Pressurize	Поднять давление в реакторе
Purge / Inert	Продувка реактора инертным газом
Sample	Отбор пробы из реактора
SIP	Продувка реактора перегретым паром
CIP	Промывка реактора водой
Transfer in	Передача смеси из предыдущего реактора
Transfer out	Передача смеси в последующий реактор
Vaporize / Concentrate	Выпаривание, концентрирование в реакторе
Vent	Удалять газы из реактора
Ferment (kinetic)	Ферментация, описываемая кинетикой в реакторе
Ferment (perfusion)	Ферментация, описываемая равновесием в реакторе
Ferment (stoichiometric)	Ферментация, описываемая стехиометрией в реакторе
React (kinetic)	Реакция, описываемая кинетикой в реакторе
React (Equilibrium)	Реакция, описываемая равновесием в реакторе
React (stoichiometric)	Реакция, описываемая стехиометрией в реакторе

Следующим шагом при инициализации оборудования в программе **SuperPro Designer** является инициализация операций, выполняемых в оборудовании. Суть действий заключается в том, чтобы определить время и условия, при которых выполняется та или иная операция в единице оборудования, а также задать необходимые для работы оборудования параметры (степень превращения, константу скорости, стехиометрию

реакции и т.д.). Для того чтобы задать необходимые параметры, необходимо щелкнуть курсором мышки (при нажатой правой кнопке) по реактору и открыть во всплывающем меню **Operation Data...** один из разделов подменю (например **CHARGE-2**, **CHARGE-1**, **AGITATE-1**, **REACT-1**, **TRANSFER-OUT-1**), как это представлено на рис. 30.

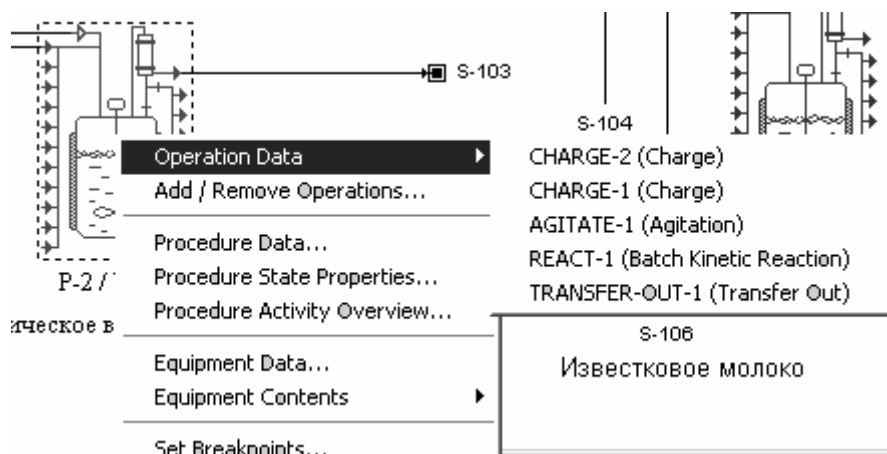


Рис. 30. Всплывающее меню инициализации операций (**Operation Data...**) для моделируемого оборудования

Набор выполняемых операций в единице оборудования может отличаться, но мы рассмотрим на этом примере, как выполняется инициализация операций. В подменю **Operation Data...** мы выбираем самую первую операцию (**Charge-2**). После выполнения этих действий на экране появится диалоговое окно (**CHARGE-2 (Charge)**) (рис. 31) с закладками: условия операции (**Oper.Cond`s**), объемы заполнения (**Volumes**), утечка летучих соединений из оборудования (**Vent/Emissions**), выполнение операции обслуживающим персоналом (**Labor, etc.**), описание операции (**Description**) и график выполнения операции (**Scheduling**).

На закладке условий операции (**Oper.Cond`s**) в окне выпадающего списка (**Charge Using**) выбираем поток, по которому будет подаваться смесь в реактор (в нашем примере это поток **S-102**). В разделе (**Amount (per Cycle)**) указывается количество загружаемого в реактор в результате операции (**Charge**) вещества. В разделе (**Duration**) указывается продолжительность процесса наполнения, рассчитанная на основе массовой скорости потока

(кг/ч) ( **Mass Flowrate**, kg/h) или объемной скорости потока (л/ч) ( **Volumetric Flowrate**, kg/h).

The screenshot shows the 'CHARGE-2 (Charge)' dialog box with the 'Oper. Cond's' tab selected. The 'Charge Using' dropdown is set to 'Input #2 : S-102'. Under 'Amount (per Cycle)', the 'Mass' radio button is selected with a value of 100,000 kg, and the 'Volume' radio button is unselected with a value of 100,532 L. Under 'Duration', the 'Setup Time' is 0,00 min. In the 'Process Time' section, the 'Set by User' radio button is unselected with a value of 10,00 min, and the 'Calculated Based on' radio button is selected. Under 'Calculated Based on', the 'Mass Flowrate' radio button is selected with a value of 600,000 kg/h, and the 'Volumetric Flowrate' radio button is unselected with a value of 603,194 L/h. There is also an option for 'Set by Master-Slave Relationship' with a 'Setup...' button and a descriptive text: 'Match the duration of this operation to the duration of another operation or string of operations.' At the bottom, there is an 'Ignore Labor' checkbox which is checked. The bottom bar contains navigation and control buttons: back, forward, double back, double forward, a dropdown menu, OK, Отмена (Cancel), and Справка (Help).

Рис. 31. Закладка условия операции (**Oper.Cond's**) диалогового окна операции наполнения реактора (**CHARGE-2**)

На закладке объемов заполнения (**Volumes**) диалогового окна **CHARGE-2** (рис. 32) в разделе рабочих объемов сосудов (**Working / Vessel Volume**) указываются установленный по умолчанию максимальный объем заполнения реактора в процентах (**Max Allowable**) и объем заполнения реактора в процентах при выполнении операции **Charge-2 (Final)**. В разделе рабочих объемов (**Working Volume**) указывается расчетный объем реактора в литрах (**Final**).

На закладке утечки летучих соединений из оборудования (**Vent/Emissions**) диалогового окна **CHARGE-2** (рис. 33) указывается, будет ли происходить выделение компонентов смеси из реактора в атмосферу цеха при продувке ( **Venting**).

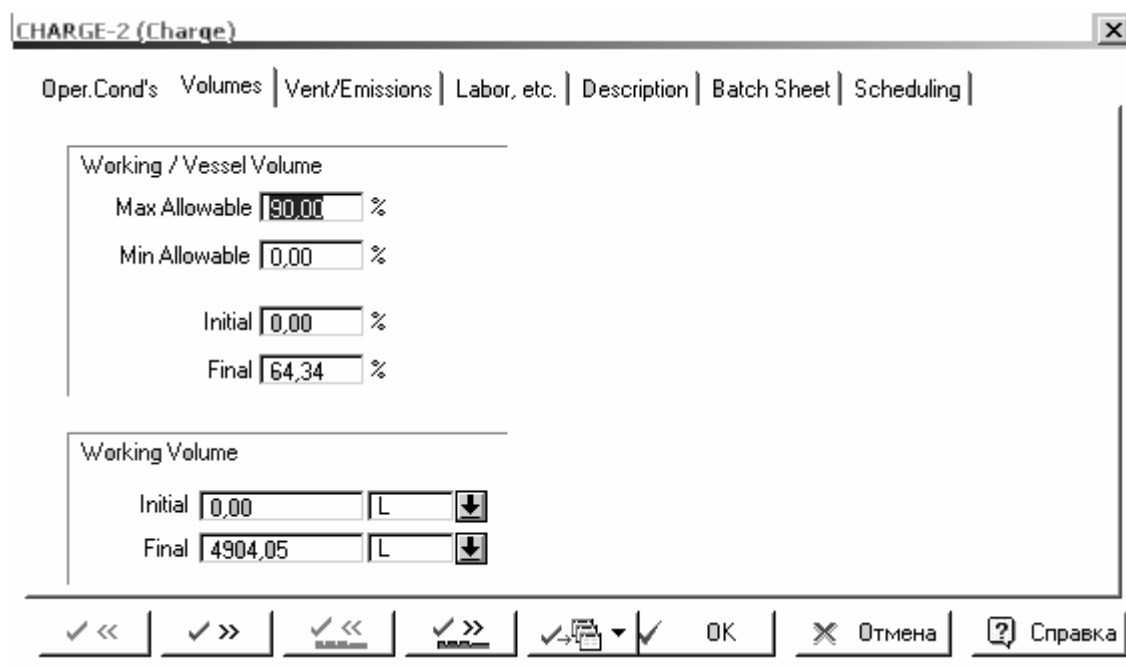


Рис. 32. Закладка объема заполнения (**Volumes**) диалогового окна операции наполнения реактора **CHARGE-2**

Здесь же указывается тип аппарата: открытый сосуд, работающий при атмосферном давлении ( **Open Vessel (Atmospheric)**) или сосуд, работающий под давлением, с предохранительным клапаном ( **Pressurized Vessel with Relief Valve Set At**). Для сосуда, работающего под давлением, необходимо указать величину давления в барах. В разделе выделения компонентов смеси из реактора в атмосферу цеха при продувке ( **Venting**) также можно указать компоненты, выделяющиеся из реактора (**Component Emission Data**). В таблице **Component Emission Data** нужно непосредственно указать в столбце **Emitted?** компоненты . Если кнопка компонента  столбца **Set by User** не будет отмечена пользователем, то расчет выделения компонента из оборудования будет произведен на основании модели. В случае, если кнопка компонента  столбца **Set by User** будет отмечена и в столбце **Emission %** будет указана цифра, то из реактора

выделится указанный в столбце **Emission** процент от общего содержания компонента в реакторе. Также на этой закладке указывается наличие ( **On**) или отсутствие ( **Off**) конденсатора на вентиле реактора (**Vent Condenser**) и указывается, при какой температуре он работает.

Operating Pressure 10,132 bar

Venting

Vent Port / Stream Output #1 : (none)

Operating Mode

Open Vessel (Atmospheric)

Pressurized Vessel with Relief Valve Set At 1,013 bar

Emissions

Component Emission Data				
	Component	Emitted ?	Set By User	Emission %
2	Ca Hydroxide	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,000
3	CaSO4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,000
4	Chromium Sulfat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,000
5	Cromium hydroxy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,000
6	Nitrogen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,000
7	Oxygen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,000
8	Sodium Dichroma	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,000
9	Sodium Hydroxid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,000

Vent Condenser

Off  On at Temperature 20,00 °C

Рис. 33. Закладка утечки летучих соединений из оборудования (**Vent/Emissions**) диалогового окна операции наполнения реактора **CHARGE-2**

На закладке выполнения операции обслуживающим персоналом (**Labor, etc.**) диалогового окна **CHARGE-2** (рис. 34) указывается, какой персонал будет задействован при выполнении операции **CHARGE-2**. В таблице



раздела обслуживающего персонала (**Labor**), в столбике персонала может быть указан: аппаратчик (**Operator**), аппаратчик сушилки (**Dryer Operator**), аппаратчик колонны синтеза (**Reactor Operator**), аппаратчик фильтра (**Filter Operator**), контролер качества (**QC Analyst**), супервизор (**Supervisor**) и т.д.. Персонал, обслуживающий выполнение операции, его состав и количество определяется на основании характера выполняемой операции. Если операция типовая, то программа определяет состав персонала по умолчанию.

Рис. 34. Закладка выполнения операции обслуживающим персоналом (**Labor, etc.**) диалогового окна операции наполнения реактора **CHARGE-2**

На закладке выполнения операции обслуживающим персоналом (**Labor, etc.**) диалогового окна **CHARGE-2** (рис. 34) присутствуют разделы:

- вспомогательные материалы (**Auxiliary Utilities**) для нагрева (**Heating**) и охлаждения (**Cooling**);

- потребляемая мощность вспомогательного оборудования (**Auxiliary Power**);
- использование объема оборудования (**Size Utilization**);
- при анализе производительности процесса (**For Throughput Analysis Use**) можно использовать рассчитанные значения (**Calculated Value**) или принять (**Assume**) 100% или 0% от объема.

В качестве теплоносителей для нагрева (**Heating**) в окне выпадающего списка **Agent** можно выбрать пар (**Steam**) с рабочей температурой 152°C или перегретый пар (**Steam (High P)**) с рабочей температурой 242°C.

В качестве хладагента в окне выпадающего списка **Agent** можно выбрать:

- рассол  $\text{CaCl}_2$  (**CaCl2 Brine**) с рабочим интервалом температур от -30°C до -20°C;
- холодную воду (**Chilled Water**) с рабочим интервалом температур от 5°C до 10°C;
- охлаждающую воду (**Cooling Water**) с рабочим интервалом температур от 25°C до 30°C;
- фреон (**Freon**) с рабочим интервалом температур от -4°C до -3°C;
- гликоль (**Glycol**) с рабочим интервалом температур от -10°C до 0°C;
- рассол  $\text{NaCl}$  (**NaCl Brine**) с рабочим интервалом температур от -10°C до 0°C.

В окне редактирования соответствующего раздела указывается расход (**Rate**) теплоносителя или хладагента на выполнение операции. Если выполняемая в оборудовании операция связана с использованием теплоносителя или хладагента, но его расход (**Rate**) не был указан в разделе (**Auxiliary Utilities**), то программа автоматически выберет необходимый теплоноситель или хладагент и рассчитает его расход. Это также относится к разделу потребляемая мощность вспомогательного оборудования (**Auxiliary Power**).

На закладке графика выполнения (**Scheduling**) диалогового окна **CHARGE-2** определяется время и порядок выполнения операции наполнения компонентом или раствором реактора (рис. 35). Так как операция **CHARGE-2** выполняется первой для реактора, то в разделе времени начала процесса (**Start Time**) устанавливаем относительно начала цикла ( **Relative to the beginning of the Batch**).

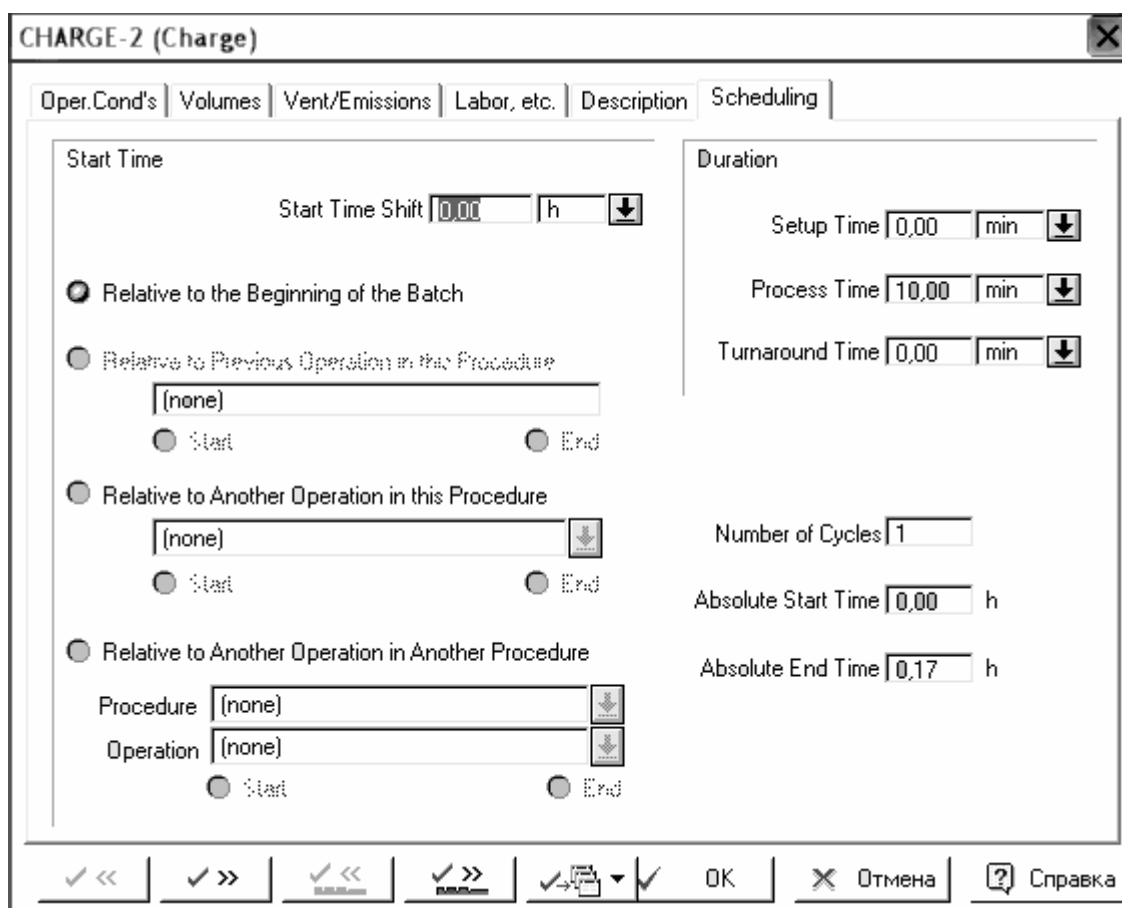



Рис. 35. Закладка график выполнения (**Scheduling**) диалогового окна операции наполнения реактора **CHARGE-2**

Когда все закладки операции наполнения реактора раствором (**Charge-2**) определены, переходим к следующей по порядку операции (в нашем примере **Charge-1** (рис. 30)). Для этого нажимаем кнопку  (рис. 35). Структура закладок для операции **Charge – 1** и для операций **AGITATE-1**, **REACT-1**, **TRANSFER-OUT-1** не отличается от структуры закладок для операции **Charge-2**, поэтому для работы с ними можно руководствоваться пояснениями, данными для рис. 31-35. Мы лишь рассмотрим некоторые

отличия. Для операции **Charge-1** и всех последующих операций, при работе с закладкой графика выполнения (**Scheduling**), удобнее определять время и порядок выполнения операции наполнения компонентом или раствором реактора (рис. 36) относительно предыдущей операции в этом реакторе ( **Relative to Previous Operation in this Procedure**), началом ( **Start**) или концом ( **End**) выполнения этой процедуры.

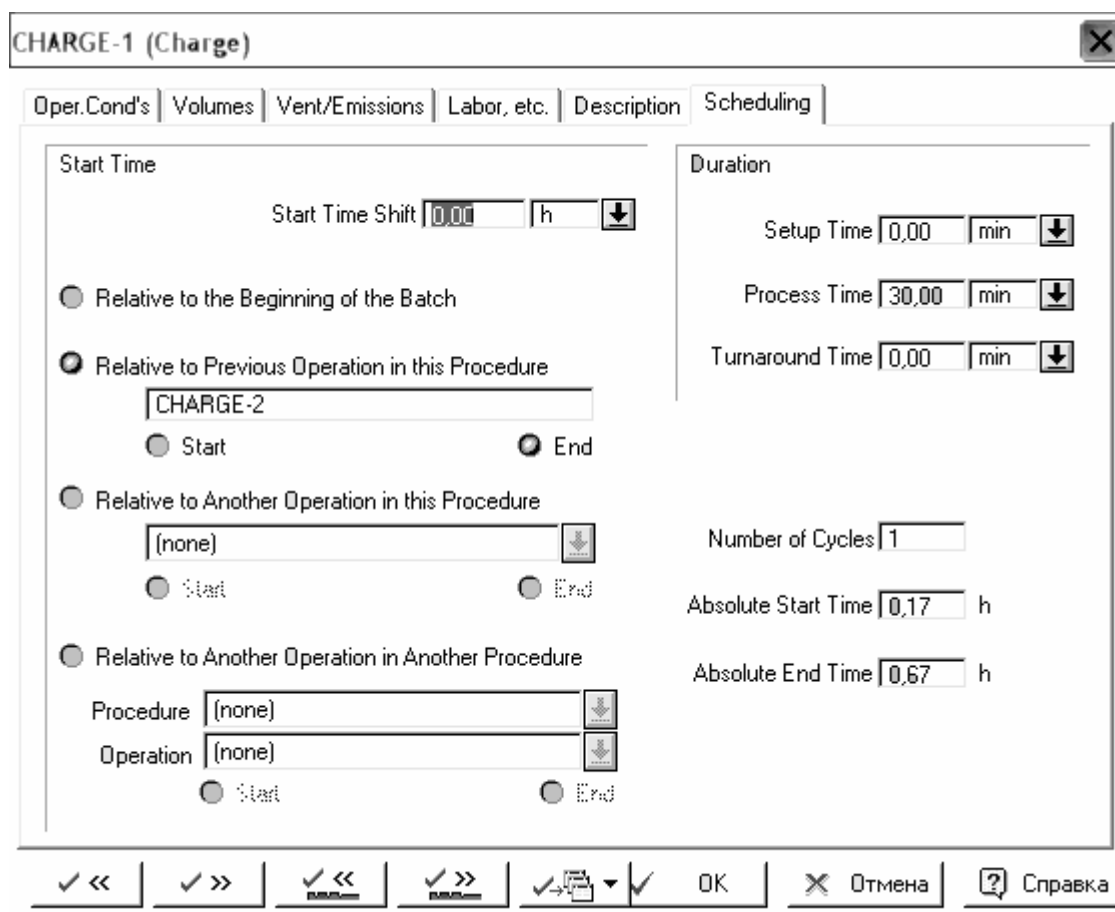


Рис. 36. Закладка график выполнения (**Scheduling**) диалогового окна операции наполнения реактора **CHARGE-1**

Смысл выбора заключается в том, что процесс наполнения реактора раствором (**CHARGE-1**) можно проводить после наполнения реактора раствором (**CHARGE-2**), если выбрать ( **End**). Альтернативно процесс наполнения реактора раствором (**CHARGE-1**) можно проводить одновременно с наполнением реактора раствором (**CHARGE-2**), если выбрать ( **Start**).

Закладка параметров реакции (**Reactions**) диалогового окна реакции, описываемой кинетикой (**REACT-1 (Batch Kinetic Reaction)**), представлена на рис. 37.

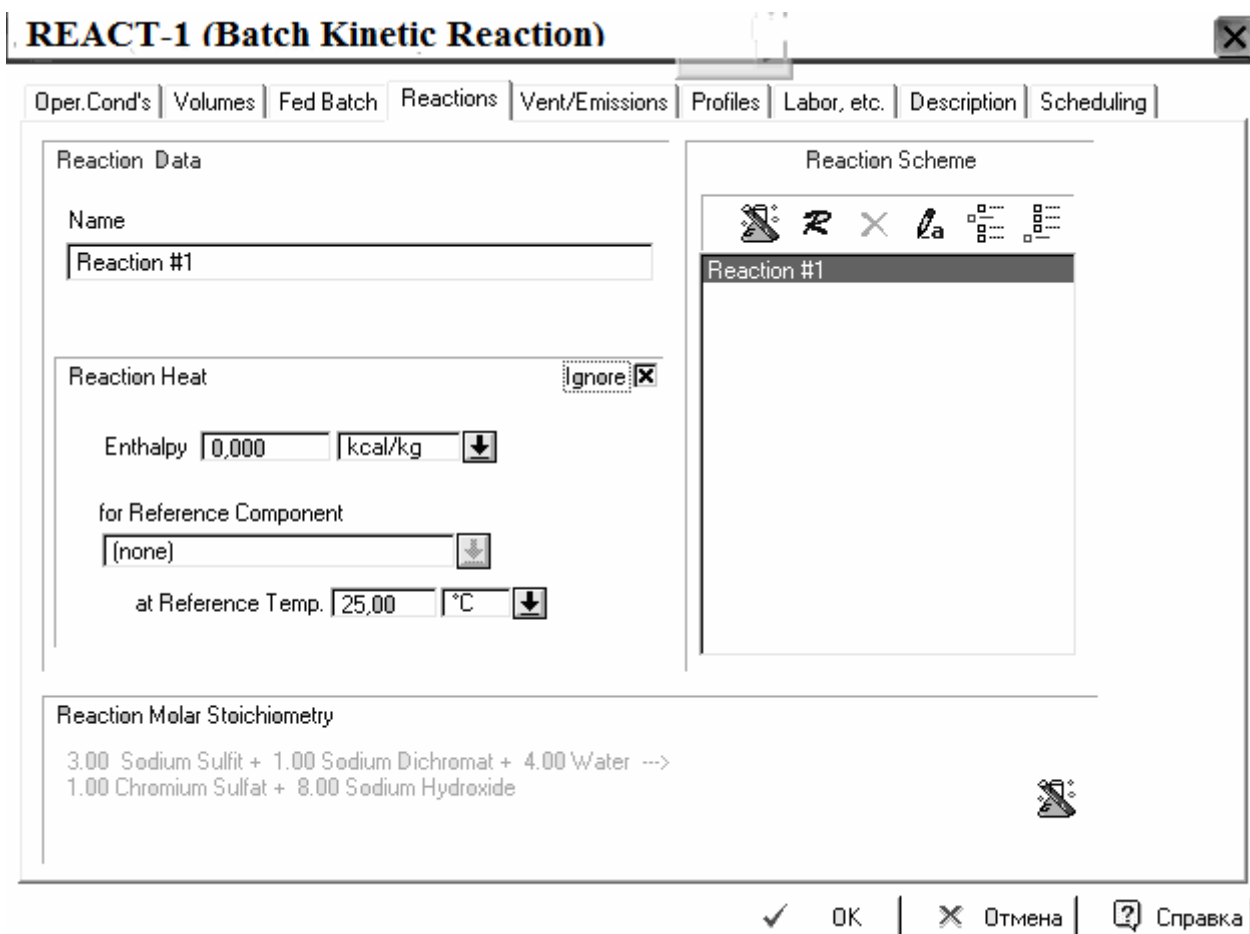




Рис. 37. Закладка параметров реакции (**Reactions**) диалогового окна реакции, описываемой кинетикой (**REACT-1 (Batch Kinetic Reaction)**)

Для того чтобы записать реакцию, протекающую в реакторе между компонентами, необходимо нажать на иконку  **Edit Stoichiometry (of Selected Reaction)**, и в появившемся диалоговом окне материального баланса реакции (**Stoichiometry Balance for Reaction #1**) занести кнопкой **Add a Reactant**  в левую часть диалогового окна вещества, вступающие в реакцию (**Reactants**), а в правую часть продукты реакции (**Products**). После того как все компоненты внесены, выберите  **Molar** и уравняйте реакцию, расставив коэффициенты в столбики (**Molar Coeff.**) разделов **Reactants** и **Products**. После того как реакция уравнена, значение **Total Mass** разделов

**Reactants** и **Products** должны совпадать. Если это не так, то реакция не будет уравнена, и программа не будет выполнять расчет.

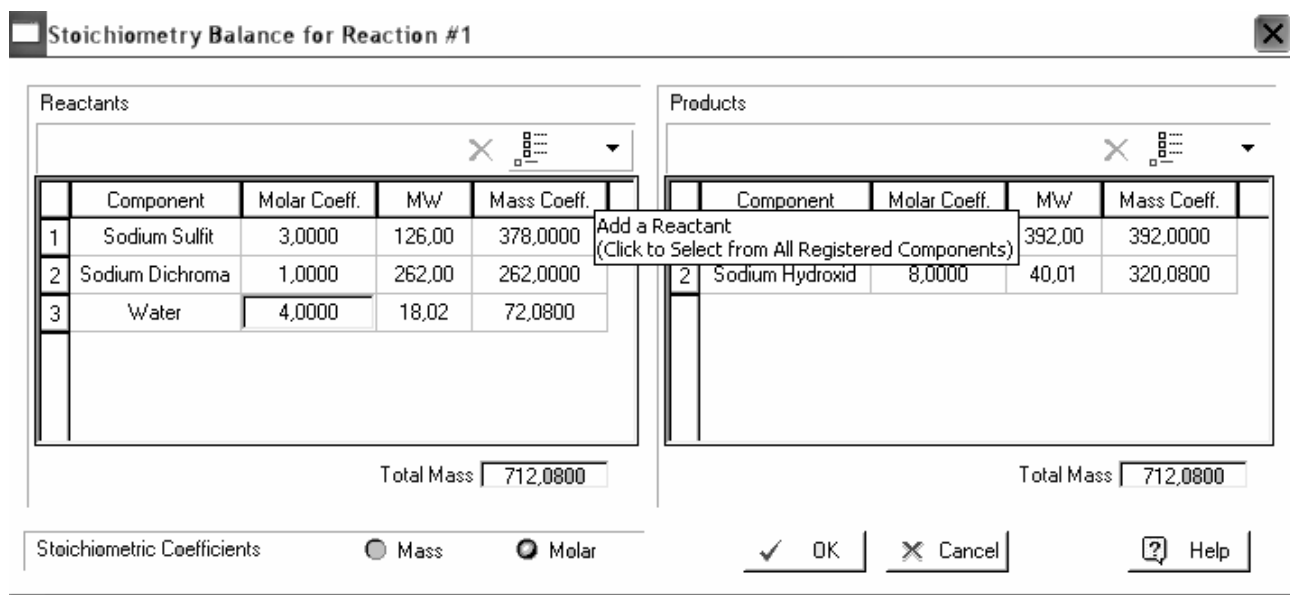



Рис. 38. Диалоговое окно материального баланса реакции (**Stoichiometry Balance for Reaction #1**)

После того как реакция записана и уравнена, необходимо задать константу скорости реакции. Для этого на закладке параметров реакции (**Reactions**) диалогового окна реакции, описываемого кинетикой (**REACT-1 (Batch Kinetic Reaction)**) (рис. 37), нажмите иконку  **View/Edit Kinetic Rate (of Selected Reaction)**. В появившемся диалоговом окне кинетики реакции (**Kinetics for Reactions**) (рис. 39) в окне выпадающего списка константы скорости по компоненту (**Rate Ref. Comp.**) необходимо выбрать компонент, для которого будет вводиться константа скорости реакции. В окне таблицы порядка реакции (**Reaction Order**) в столбике **Exponent** вводится 1 для компонентов, учитываемых при расчете скорости реакции. Далее в разделе значения константы скорости реакции (**Rate constant (k) specifications**) необходимо непосредственно указать величину константы скорости, если выбрано значение, определяемое пользователем ( **User Specified**), или ввести значение предэкспоненты (**Frequency Factor(A)**) и энергии активации (**Activation Energy (E)**), отметив, рассчитать на основании уравнения Аррениуса ( **Calculated from Arrhenius**).

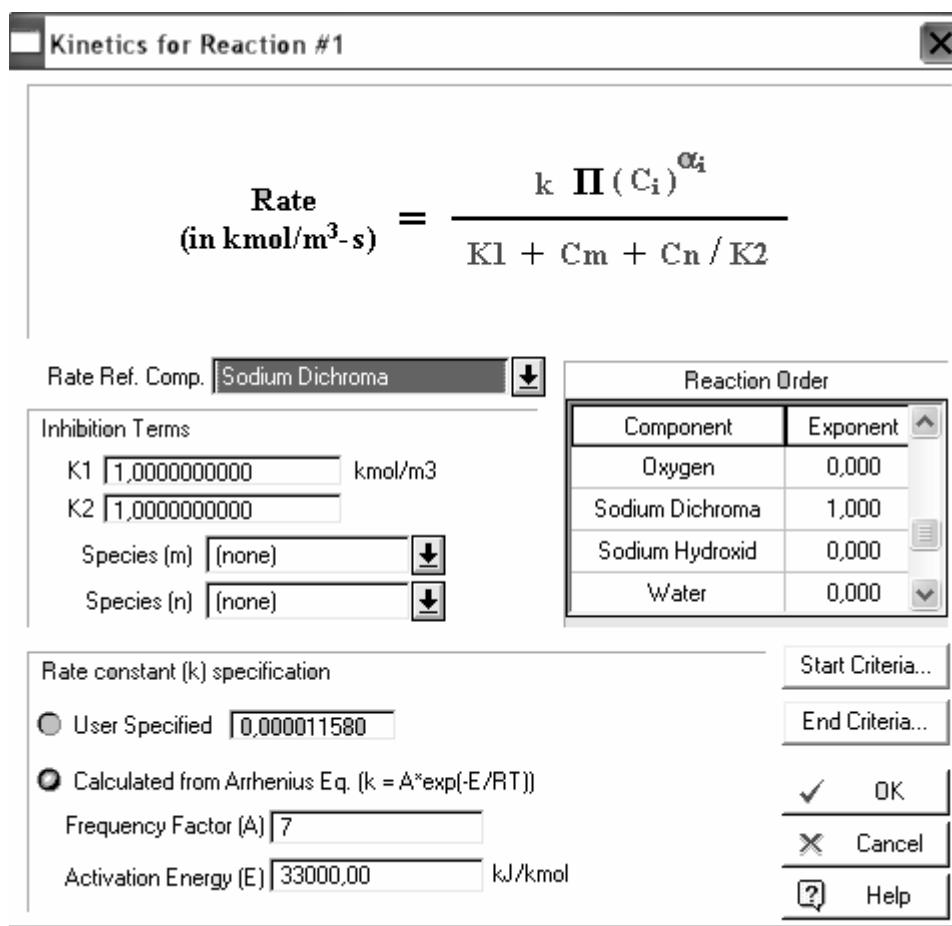


Рис. 39. Диалоговое окно кинетики реакции (**Kinetics for Reactions**)

На закладке условий операции (**Oper.Cond's**) диалогового окна операции перекачки из реактора прореагировавшей смеси (**TARNSEFER-OUT-1**) (рис. 40) обозначаем в окне выпадающего списка (**Transfer Out Using**) поток, по которому будет откачиваться раствор.

На закладке условий операции (**Oper.Cond's**) диалогового окна операции отстаивания в отстойнике (**CLARIFY-1**) (рис. 41) располагается раздел очистки от взвешенных веществ (**Removal of Particulate Components**). На основании выбора в данном разделе степень очистки в отстойнике может рассчитываться по эмпирической модели ( **Calculate Using Empirical Model**) или жестко задаваться пользователем ( **Set by User**) в таблице удаляемых взвешенных веществ (**Particle Removal**). В таблице удаляемых взвешенных веществ (**Particle Removal**) необходимо отметить напротив удаляемого компонента в столбце **Removed** и в столбце **Removal** нужно указать степень очистки компонента в процентах.

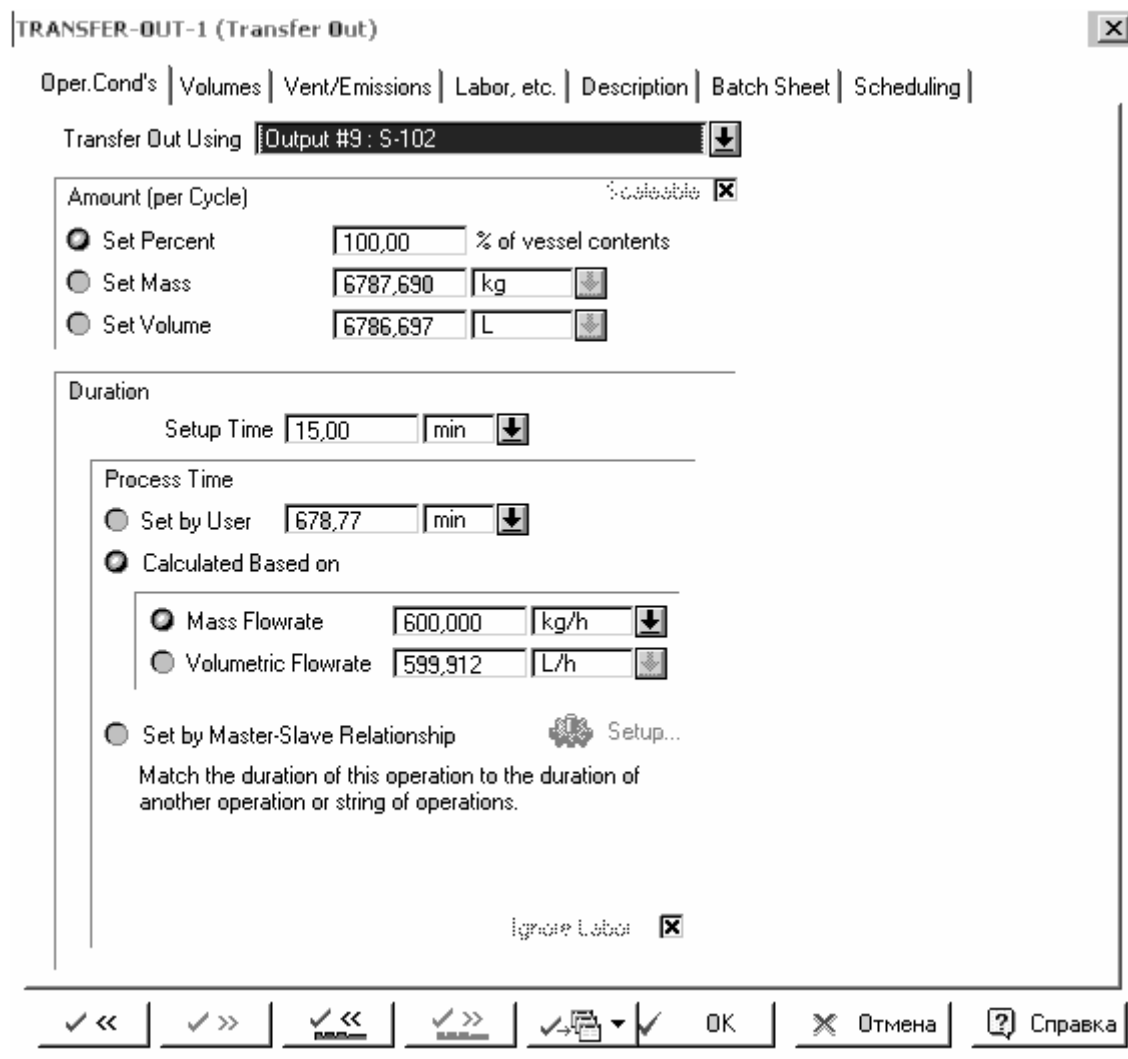


Рис. 40. Закладка условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции перекачки прореагировавшей смеси (**TARNSFER-OUT-1**)

Раздел параметров моделирования (**Design Options**) закладки условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции отстаивания в отстойнике (**CLARIFY-1**) (рис. 41) позволяет моделировать процесс на основании значения удельного расхода сточной воды на единицу площади отстойника (**Set Overflow Rate**) или значений параметров осаждаемых частиц (**Set Properties of Limiting Particle**): медианного диаметра частиц (мкм) (**Particle Diameter**), плотности частиц (г/л) (**Particle Density**).

Также закладка условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции отстаивания в отстойнике (**CLARIFY-1**) (рис. 41) содержит вводимые при моделировании значения концентрации взвешенных частиц в осадке (г/л) (**Particle Conc. In Sludge**), вязкости жидкости (сантипуазы)



(**Liquid Viscosity**), значение удельного количества выгружаемого осадка с единицы площади отстойника ( $\text{кг}/\text{м}^2/\text{день}$ ) (**Solids Loading**) и мощность насоса гидроэлеватора для выгрузки осадка ( $\text{кВт}$ ) (**Power**).

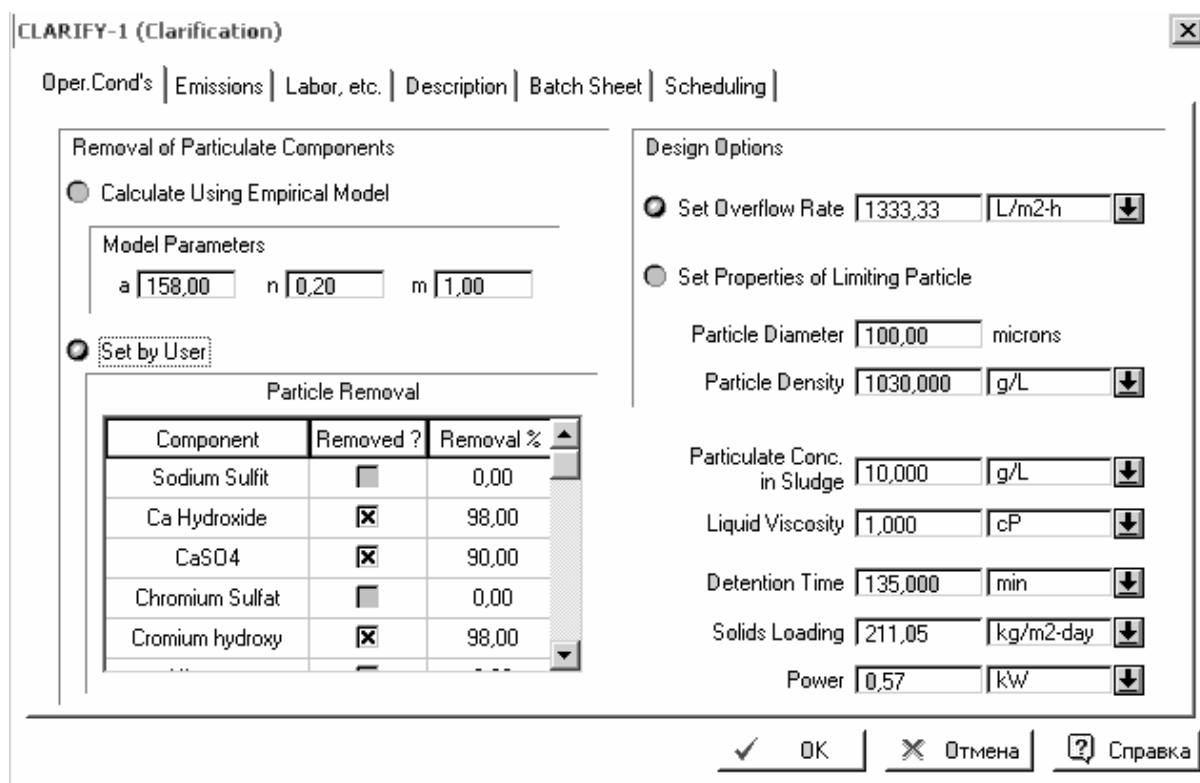


Рис. 41. Закладка условий операции (**Oper. Cond's**) диалогового окна операции отстаивания в отстойнике (**CLARIFY-1**)

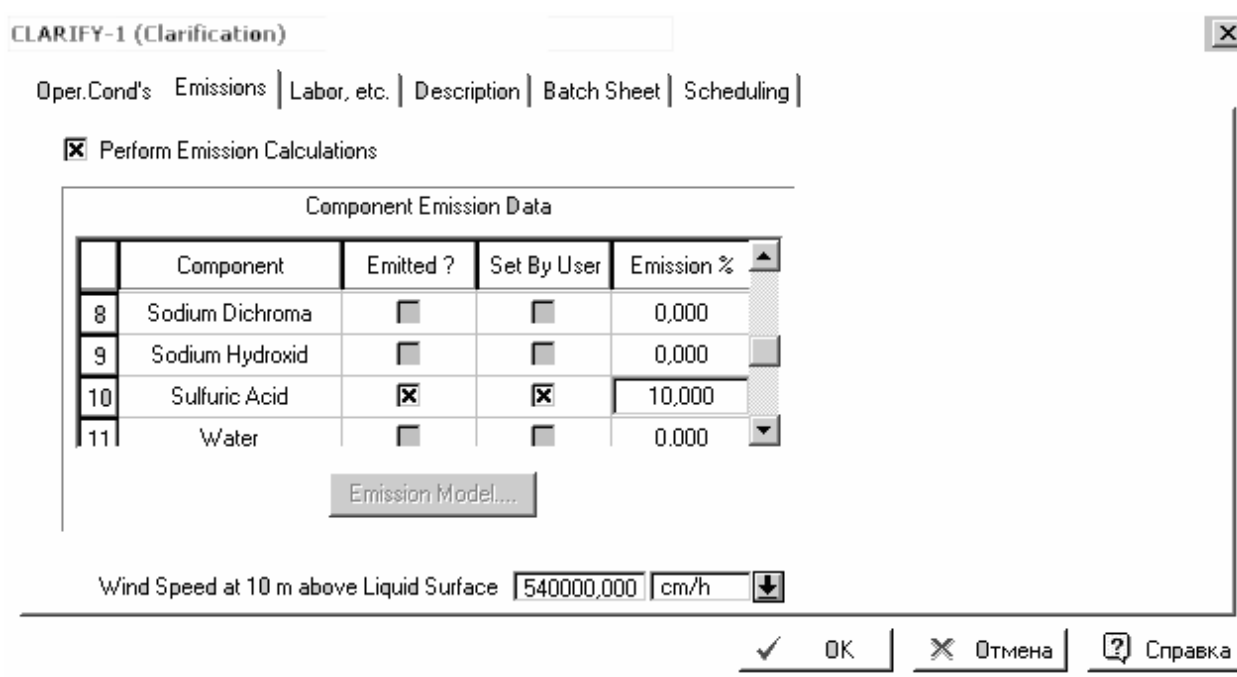


Рис. 42. Закладка выбросов (**Emissions**) диалогового окна операции отстаивания в отстойнике (**CLARIFY-1**)

На закладке выбросов (**Emissions**) диалогового окна операции отстаивания в отстойнике (**CLARIFY-1**) (рис. 42) определяется, будет ли рассчитываться при моделировании выброс летучих соединений с поверхности отстойника. Если значение  **Perform Emission Calculation** отмечено, то расчет производится. Закладка выбросов (**Emissions**) содержит таблицу компонентов, присутствующих в выбросе (**Component Emission Data**), где необходимо отметить компоненты, которые будут выделяться с поверхности отстойника в атмосферный воздух. Для этого в таблице **Component Emission Data** нужно напротив компонента в столбике **Emitted** отметить .

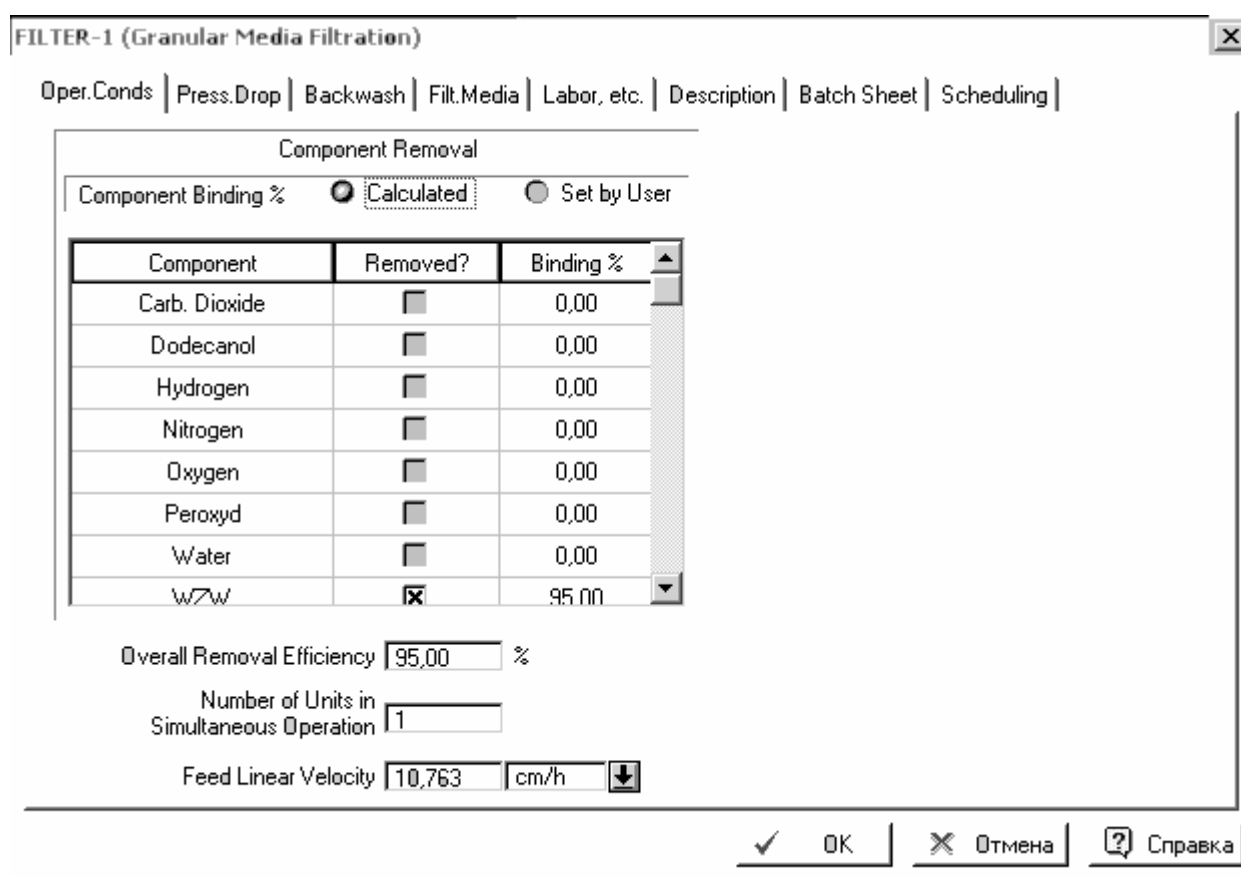


Рис. 43. Закладка условий операции (**Oper.Cond's**) диалогового окна операции фильтрования в фильтре с гранулированной загрузкой (**FILTER-1**)

В этом случае расчет выброса производится на основании эмиссионной модели. Если же напротив компонента в столбике **Set By User** будет отмечено , то количество выделяющегося компонента будет определяться процентом, который указан в столбике **Emission**. Также на закладке

выбросов (**Emissions**) вводится значение скорости ветра над поверхностью воды в отстойнике (см/ч) (**Wind Speed at 10 m Liquid Surface**).

На закладке условий операции (**Oper.Cond's**) диалогового окна операции фильтрования сточной воды от взвешенных веществ в фильтре с гранулированной загрузкой (**FILTER-1**) определяются удаляемые при фильтрации компоненты (**Component Removal**). Степень очистки от взвешенных веществ на фильтре с гранулированной загрузкой определяется расчетом ( **Calculated**) или жестко задается пользователем ( **Set by User**).

Если степень очистки от взвешенных веществ определяется пользователем ( **Set by User**), то в столбике **Binding** напротив очищаемого компонента указывается ее значение. Закладка (рис. 43) также содержит значение вводимой общей степени очистки (**Overall Removal Efficiency**), значение линейной скорости жидкости сквозь слой фильтра (см/ч) (**Feed Linear Velocity**).

**FILTER-1 (Granular Media Filtration)**

Oper.Conds | Press.Drop | Backwash | Filt.Media | Labor, etc. | Description | Batch Sheet | Scheduling

Inlet Stream | S-103

Requirements

Set (per-mass-filtered) | 5,00 | wt/wt

Set (per-volume-washed) | 250,00 | kg/m3

Calculated Based on Fluidization Velocity

Operating Characteristics

Continuous Backwashing

Backwashing Follows Filtration

Filtration Time | 300,000 | min

Backwashing Time | 120,000 | min

Pressure Drop and Power Requirements

Fluidized Bed Void Fraction | 80,00 | %

Fluidized Bed Expansion | 50,00 | %

Pump Efficiency | 75,00 | %

Backwash Linear Velocity | 2,432 | cm/h

Backwash Pressure Drop | 0,010 | bar

OK | Отмена | Справка

Рис. 44. Закладка обратной промывки (**Backwash**) диалогового окна операции фильтрования в фильтре с гранулированной загрузкой (**FILTER-1**)

На закладке обратной промывки (**Backwash**) диалогового окна операции фильтрования в фильтре с гранулированной загрузкой (**FILTER-1**) (рис. 44) указывают поток, поступающий на промывку гранулированной загрузки

**(Inlet Stream)**. Закладка также содержит разделы, определяющие количество промывной воды, идущей на промывку (**Requirements**), раздел потерь давления и мощности (%) (**Pressure Drop and Power Requirements**) и раздел характеристики операции промывки (**Operating Characteristics**). Раздел, определяющий количество промывной воды, идущей на промывку (**Requirements**), позволяет выбрать порядок расчета количества промывной воды: на единицу массы гранулированной загрузки фильтра (кг/кг) ( **Set (per mass-filtered)**), на единицу объема гранулированной загрузки фильтра (кг/м<sup>3</sup>) ( **Set (per volume-washed)**) и рассчитанной на основании скорости взвешивания частиц ( **Calculated Base on Fluidization Velocity**). Раздел потерь давления и мощности (**Pressure Drop and Power Requirements**) содержит значения пористости слоя гранулированной загрузки (%) (**Fluidized Bed Void Fraction**), степень взвешивания слоя (%) (**Fluidized Bed Expansion**), эффективность промывки (%) (**Pump Efficiency**). Раздел характеристик операции промывки (**Operating Characteristics**) позволяет моделировать процесс на фильтре с гранулированной загрузкой при непрерывной обратной промывке ( **Continuous Backwashing**) или периодической промывке, идущей после операции фильтрования ( **Backwashing Follow Filtration**). В случае периодической промывки, идущей после операции фильтрования ( **Backwashing Follow Filtration**), определяются времена промывки (**Backwashing Time**) и фильтрации (**Filtration Time**) в часах. На этой же закладке указываются линейная скорость обратной промывки (см/ч) (**Backwash Linear Velocity**) и потери давления при обратной промывке (бар) (**Backwash Pressure Drop**).

На закладке фильтрующего слоя (**Filt. Media**) диалогового окна операции фильтрования в фильтре с гранулированной загрузкой (**FILTER-1**) (рис. 45) определяется количество слоев гранулированной фильтрующей загрузки и их характеристики (**Granular Media Layer(s) Description**). Таблица позволяет ввести:

- процент от общей высоты слоя (**Length (%Total)**);

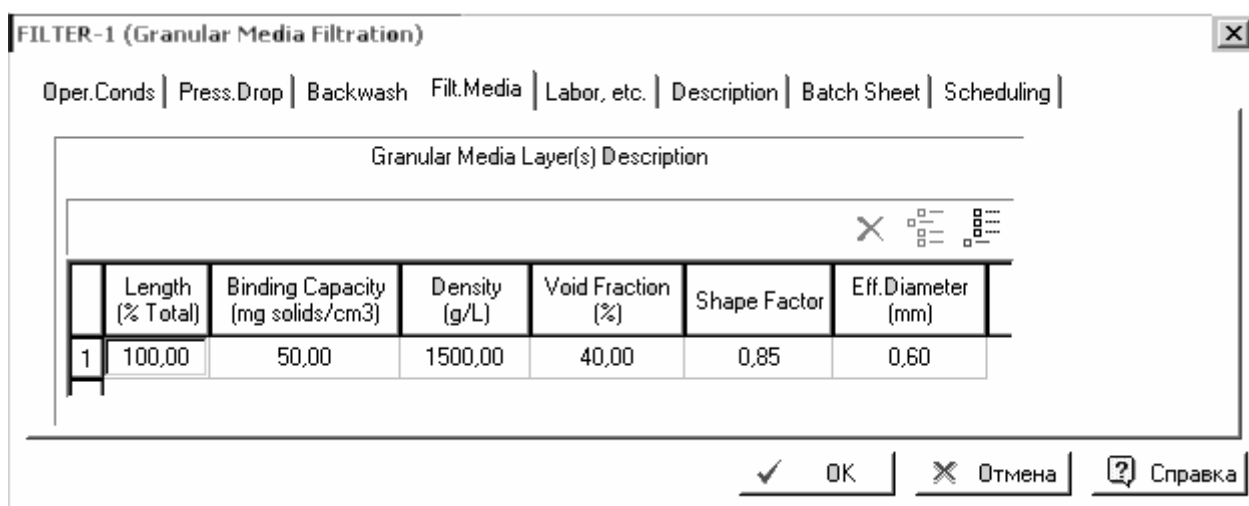


Рис. 45. Закладка фильтрующего слоя (**Filt. Media**) диалогового окна операции фильтрования в фильтре с гранулированной загрузкой (**FILTER-1**)

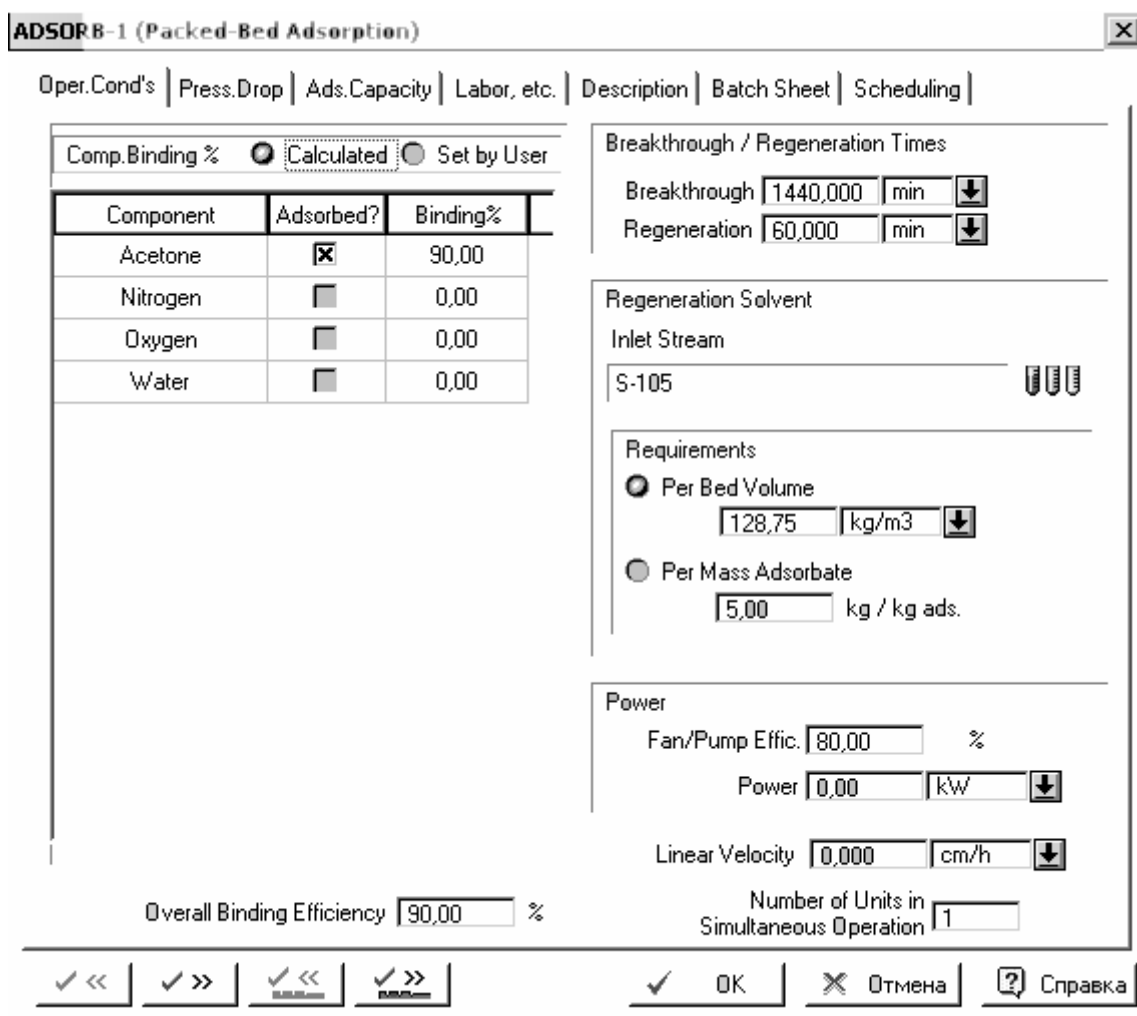



Рис. 46. Закладка условий операции (**Oper. Cond's**) диалогового окна операции адсорбции из газа на активированном угле (**ADSORB-1**)

- емкость гранулированной загрузки по взвешенным веществам (**Binding Capacity**) в мг(взвешенных)/см<sup>3</sup>(загрузки);

- пористость слоя гранулированной загрузки (**Void Fraction**) (%);
- медианный диаметр гранулированной загрузки (**Eff. Diameter**);
- плотность (**Density**) и фактор формы гранул (**Shape Factor**).

Чтобы добавить еще один слой гранулированной загрузки, нужно нажать кнопку .

Закладка условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции адсорбции из газа на активированном угле (**ADSORB-1**) (рис. 46) содержит раздел степеней адсорбции (**Comp.Binding %**), который позволяет рассчитать степень адсорбции ( **Calculated**) или задать самостоятельно степень адсорбции ( **Set by User**), отметив  напротив адсорбируемого компонента в столбике **Adsorbed** и указав в столбике **Binding** значение степени адсорбции (%). Раздел времени адсорбции и регенерации (**Breakthrough/Regeneration Time**) позволяет задавать время адсорбции и регенерации в минутах. Раздел потока для регенерации адсорбента (**Regeneration Solvent**) позволяет указать направление входа потока для операции регенерации адсорбента и порядок оценки количества сольвента для регенерации: в единицах массы на объем адсорбента ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) ( **Per Bed Volume**) или в единицах массы на массу адсорбата ( $\text{кг}/\text{кг}$ ) ( **Per Mass Adsorbate**). На закладке также указываются значения мощности (кВт) (**Power**) для электродвигателя центробежного вентилятора, прокачивающего воздух через слой адсорбента, значения линейной скорости (см/ч) (**Linear Velocity**) и общей степени адсорбции (%) (**Overall Binding Efficiency**).

Закладка расчета адсорбционной емкости (**Ads.Capacity**) диалогового окна операции адсорбции из газа на активированном угле (**ADSORB-1**) (рис. 47) позволяет выбрать модель расчета адсорбционной емкости:

- установленную пользователем ( **Set by User**) (мг адсорбата/г адсорбента);
- рассчитанную ( **Calculated**) на основе изотермы Лэнгмюра (Langmuir Isotherm);

- рассчитанную ( **Calculated**) на основе изотермы Фридриха-Квонга ( **Freundlich Isotherm**).

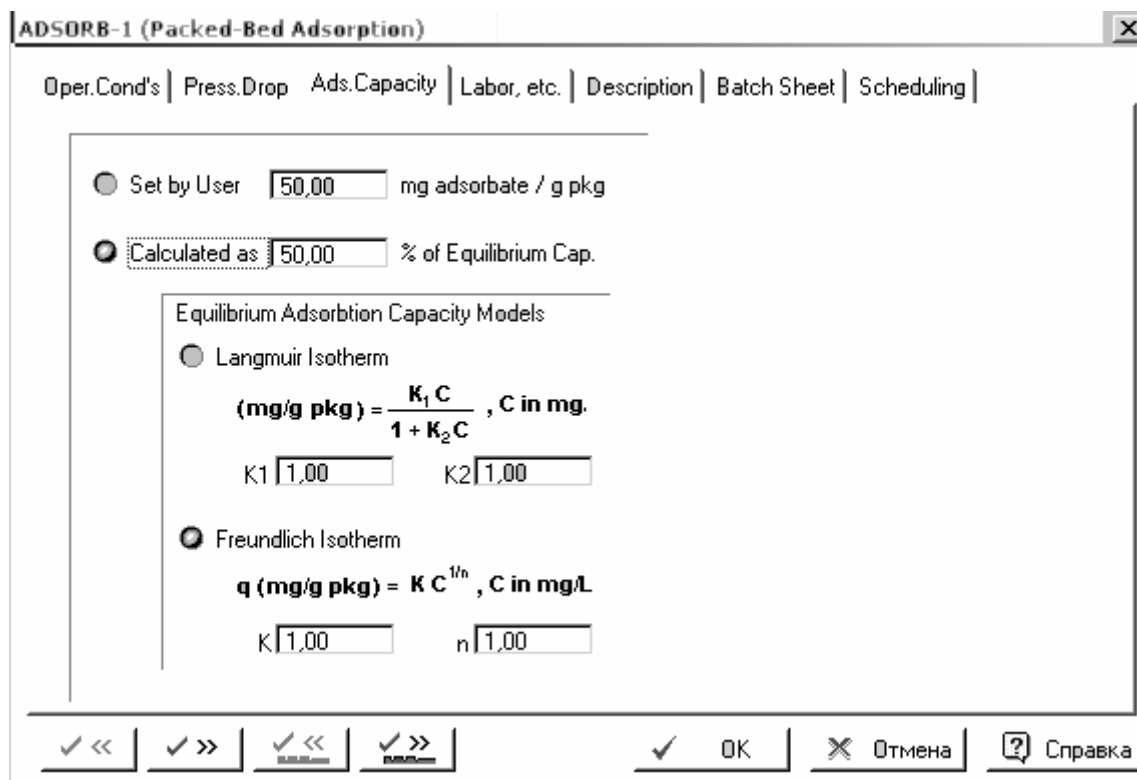


Рис. 47. Закладка расчета адсорбционной емкости (**Ads.Capacity**) диалогового окна операции адсорбции из газа на активированном угле (**ADSORB-1**)

Для уравнений изотерм нужно будет указать коэффициенты.

Закладка условий операции (**Oper.Cond's**) диалогового окна операции ионного обмена в ионообменной колонке (**LOAD**) (рис. 48) позволяет определять время работы ионообменной колонки (**Breakthrough Time**):

- установленное пользователем ( **Set by User**) в часах;
- рассчитанное на основе ( **Calculated Based on**) обменной емкости (**Binding Capacity**) ионита;
- рассчитанное на основе ( **Calculated Based on**) объема загрузки (**Service Volume**) ионита.

Раздел закладки обменной емкости ионита (**Resin Binding Capacity**) позволяет определить статическую ( **CaCO3**) или динамическую ( **Ion Mass**) обменную емкость ионита. Таблица раздела данных о связывании

компонентов ионообменной смолы (**Component Binding Data**) позволяет задать степень связывания компонента в столбике **Binding** в процентах.

Oper. Cond's | Labor, etc. | Description | Scheduling

Breakthrough Time  
 Set by User 23,41 h  
 Calculated Based on:  
 Binding Capacity  
 Service Volume 936,53 Bed Vol.

Resin Binding Capacity (Basis and Value)  
 CaCO3 50,00 g/L  
 Ion Mass 100,00 g/L

Empty-Bed Contact Time 3,00 min  
 Cycles Per Week 6,55

Component	Binding %	Ignore in Sizing ?
Anion-Hardness	0,00	<input type="checkbox"/>
Anion-Other	0,00	<input type="checkbox"/>
Ca Hydroxide	0,00	<input type="checkbox"/>
Ca(NO3)2	70,00	<input type="checkbox"/>
Carb. Dioxide	0,00	<input type="checkbox"/>
CaSO4	70,00	<input type="checkbox"/>
Cation-Hardness	99,50	<input type="checkbox"/>
Cation-Other	99,50	<input type="checkbox"/>
HCl	0,00	<input type="checkbox"/>
Nitric Acid	0,00	<input type="checkbox"/>
Nitrogen	0,00	<input type="checkbox"/>

Navigation: << >> <<< >>> Print OK Отмена Справка

Рис. 48. Закладка условий операции (**Oper.Cond's**) диалогового окна операции ионного обмена в ионообменной колонке (**LOAD**)

Закладки условий операции (**Oper.Cond's**) диалогового окна операции регенерации (**Regenerate**), взрыхления (**Backwash**), быстрой (**Fast Rinse**) и медленной промывки (**Slow Rinse**) в ионообменной колонке однотипные (рис. 49, 50). На закладке скорость промывки (**Flowrate**) задается различными способами:

- относительная скорость ( **Relative**) объема регенерируемого (промываемого, взрыхляемого) слоя ионита в минуту;
- абсолютная скорость ( **Absolute**) (л/ч);
- линейная скорость (**Approach Velocity**) (м/ч).

В разделе времени промывки (**Washing Time**) определяется пользователем ( **Set by User**) продолжительность операции (регенерации (**Regenerate**), взрыхления (**Backwash**), быстрой (**Fast Rinse**) и медленной промывки (**Slow Rinse**) в ионообменной колонке) на основании скорости



потока ( **Set Flowrate**) или объема потока ( **Set Volume**).

The screenshot shows the 'Backwash (INX Column Washing)' dialog window with the 'Oper. Conditions' tab selected. The window is divided into several sections:

- Flowrate:** Three radio buttons are present: 'Relative' (selected) with a value of 0,130 BV per min; 'Absolute' with a value of 1717,531 L/min; and 'Approach Velocity' with a value of 15,150 m/h.
- Washing Time:** Three radio buttons are present: 'Set by User' (selected) with a value of 25,00 min; 'Set Flowrate'; and 'Set Volume'. A 'Calculated' radio button is also present but not selected.
- Volume (per Cycle, per Equip. Unit):** Two radio buttons are present: 'Relative' with a value of 3,25 BV; and 'Absolute' with a value of 42938,29 L.
- Wash Streams (In / Out):** 'Wash Inlet Stream' is set to 'Input #4 : (S-105)' with a 'Composition...' button next to it. 'Wash Outlet Stream' is set to 'Input #2 : (S-110)'.

At the bottom, there is a toolbar with navigation arrows, a checkmark, a printer icon, and buttons for 'OK', 'Отмена', and 'Справка'. A note at the bottom left states 'BV = Bed Volumes (sedimented)'.

Рис. 49. Закладка условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции взрыхления в ионообменной колонке (**Backwash**)

The screenshot shows the 'Regenerate (INX Column Regeneration)' dialog window with the 'Oper. Conditions' tab selected. The window is divided into several sections:

- Flowrate:** Three radio buttons are present: 'Relative' (selected) with a value of 0,060 BV per min; 'Absolute' with a value of 792,707 L/min; and 'Approach Velocity' with a value of 6,992 m/h.
- Washing Time:** Three radio buttons are present: 'Set by User' (selected) with a value of 45,00 min; 'Set Flowrate'; and 'Set Volume'. A 'Calculated' radio button is also present but not selected.
- Volume (per Cycle, per Equip. Unit):** Two radio buttons are present: 'Relative' with a value of 2,70 BV; and 'Absolute' with a value of 35671,81 L.
- Wash Streams (In / Out):** 'Wash Inlet Stream' is set to 'Input #1 : (S-106)' with a 'Composition...' button next to it. 'Wash Outlet Stream' is set to 'Input #2 : (S-110)'.

At the bottom, there is a toolbar with navigation arrows, a checkmark, a printer icon, and buttons for 'OK', 'Отмена', and 'Справка'. A note at the bottom left states 'BV = Bed Volumes (sedimented)'.

Рис. 50. Закладка условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции регенерации в ионообменной колонке (**Regenerate**)

Альтернативно время операции можно рассчитать ( **Calculated**). В разделе входных и выходных потоков (**Wash Streams (In/Out)**) необходимо указать, в какой штуцер входит поток на операцию (**Wash Inlet Stream**) и из

какого штуцера выходит (**Wash Outlet Stream**). В разделе объемов (**Volume**) (рис. 50) показывается объем регенерационного (взрыхляющего, промывного) раствора: относительный ( **Relative**) (на единицу объема ионита) и абсолютный ( **Absolute**) (литр).

**LOAD-1 (GA Column Loading)**

Oper. Cond's | Labor, etc. | Description | Scheduling

Component Binding Data	
Component	Binding %
CaSO4	0,00
Cation-Hardness	0,00
Cation-Other	0,00
HCl	0,00
Nitric Acid	0,00
Nitrogen	0,00
Oxygen	0,00
Sodium Hydroxid	0,00
Sulfuric Acid	0,00
TOC	95,00
Water	0,00

**Breakthrough Time**

Set by User 2000,00 h

Calculated Based on

Binding Capacity

Service Volume 80000,00 Bed Vol.

**Binding Capacity**

Mass of Adsorbing Components 500,00 mg

per g of Adsorbent

Empty-Bed Contact Time 6,00 min

Cycles Per Week 0,08

Navigation: << >> <<< >>> OK Отмена Справка

Рис. 51. Закладка условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции адсорбции из воды на активированном угле (**LOAD-1**)

Закладка условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции адсорбции из воды на активированном угле (**LOAD-1**) (рис. 51) содержит таблицу раздела данных о степени адсорбции веществ (%) (**Component Binding Data**). Эта таблица позволяет задать степень адсорбции компонента на активированном угле в столбике **Binding** в процентах.

На закладке условий операции (**Oper.Cond`s**) определяется время работы адсорбера (**Breakthrough Time**):

- установленное пользователем ( **Set by User**) в часах;
- рассчитанное на основе ( **Calculated Based on**) адсорбционной емкости (**Binding Capacity**) адсорбента;
- рассчитанное на основе ( **Calculated Based on**) объема загрузки (**Service**

**Volume**) адсорбента.

Раздел закладки адсорбционной емкости (**Binding Capacity**) позволяет задать массу адсорбируемых компонентов в миллиграммах на грамм адсорбента (**Mass of Adsorbing Components**).

Рис. 52. Закладка условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции регенерации адсорбента (**WASH-1**)

Закладки условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции регенерации адсорбента (**WASH-1**) (рис. 52) содержит аналогичные разделы и данные, как и для закладок условий операции (**Oper.Cond`s**) диалоговых окон операций регенерации (**Regenerate**), взрыхления (**Backwash**), быстрой (**Fast Rinse**) и медленной промывки (**Slow Rinse**) в ионообменной колонке (рис. 49, 50).

Закладка условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции фильтрования (**FILTER-1**) (рис. 53) содержит таблицу раздела данных о степени отделения взвешенных частиц от фильтрата (%) (**Particulate Component Removal**). Эта таблица позволяет задать степень отделения взвешенных частиц компонента от фильтрата в столбике **Removed** в процентах. Раздел влажности отжатого на фильтре осадка (**Cake Dryness**) позволяет задать влажность в процентах ( **LOD**) или в единицах

пористости осадка ( **Cake Porosity**) ( $\text{м}^3$  влаги на  $\text{м}^3$  осадка).

Particulate Component Removal	
Component	% Removed
Ammonium phosph	0,000
Ca Hydroxide	99,000
NH4OH	0,000
Nitrogen	0,000
Oxygen	0,000
Phosphoric Acid	99,000
Water	0,000

Cake Dryness

LOD  %

Cake Porosity  v/v

Filtrate Stream

Duration

Setup Time  min

Filtration Time

Set by User  min

Calculated Based on

Filtrate Flux  L/m2-h

Max. Cake Thickness  cm

Cake Thickness  cm

Power

Set Specific Power  kW/m2

Set Power  kW

Рис. 53. Закладка условий операции (**Oper.Cond`s**) диалогового окна операции фильтрования (**FILTER-1**)

В окне выпадающего списка **Filtrate Stream** необходимо указать штуцер (**Output #**), через который будет удаляться фильтрат из фильтра. Раздел продолжительности операции фильтрования (**Duration**) позволяет определять продолжительность фильтрования (**Filtration Time**) самому пользователю ( **Set by User**) в минутах или рассчитывать (**Calculated Based on**) на основании потока фильтрата ( **Filtrate Flux**) в литрах на  $\text{м}^2$  в час. На закладке условий операции (**Oper.Cond`s**), диалогового окна операции фильтрования (**FILTER-1**) (рис. 53), указывается максимальная толщина отжатого на фильтре осадка (**Max. Cake Thickness**) и его расчетная толщина (**Cake Thickness**) в сантиметрах.

Закладка промывки осадка (**Cake Wash**) диалогового окна операции промывки осадка (**CAKE WASH-1**) (рис. 54) позволяет определить входной штуцер (**Input #**) подачи промывной воды (**Wash In Stream**) и задать

различными способами объем промывной воды (**Amount**):

- величина, определяемая в промывном потоке ( **Available Wash In Stream**);
- объем воды ( $m^3$ ) на цикл или операцию ( **Volume per Cycle, per Unit**);
- объем воды ( $m^3$ ) на объем осадка ( $m^3$ ) ( **Volume per Cake Volume**).

CAKE-WASH-1 (Cake Wash)

Cake Wash | Solubility | Labor, etc. | Description | Batch Sheet | Scheduling

Wash In Stream  
Input #1 : (S-104)

Amount  
 Available In Wash-In Stream  
 Volume per Cycle, per Unit 5.00 m3  
 Volume per Cake Volume 9.55 vol/vol cake

Duration  
Setup Time 0.00 min

Wash Time  
 Set by User 30,000 min  
 Calculated Based on  
Wash Flux 200,000 L/m2-h

Wash Out Stream  
Output #5 : (S-105)

Wash Type  
 Displacement  Slurry

<< >> << >> OK Отмена Справка

Рис. 54. Закладка промывки осадка (**Cake Wash**) диалогового окна операции промывки осадка (**CAKE WASH-1**)

В разделе продолжительности отмывки осадка (**Duration**) указывается время промывки (**Washing Time**), определяемое пользователем ( **Set by User**) или рассчитываемое (**Calculated Based on**) на основании скорости потока фильтрата ( **Filtrate Flux**) в литрах на  $m^2$  в час. В разделе выходного потока (**Wash Out Streams**) необходимо указать, из какого штуцера выходит (**Output#**) поток после промывки.

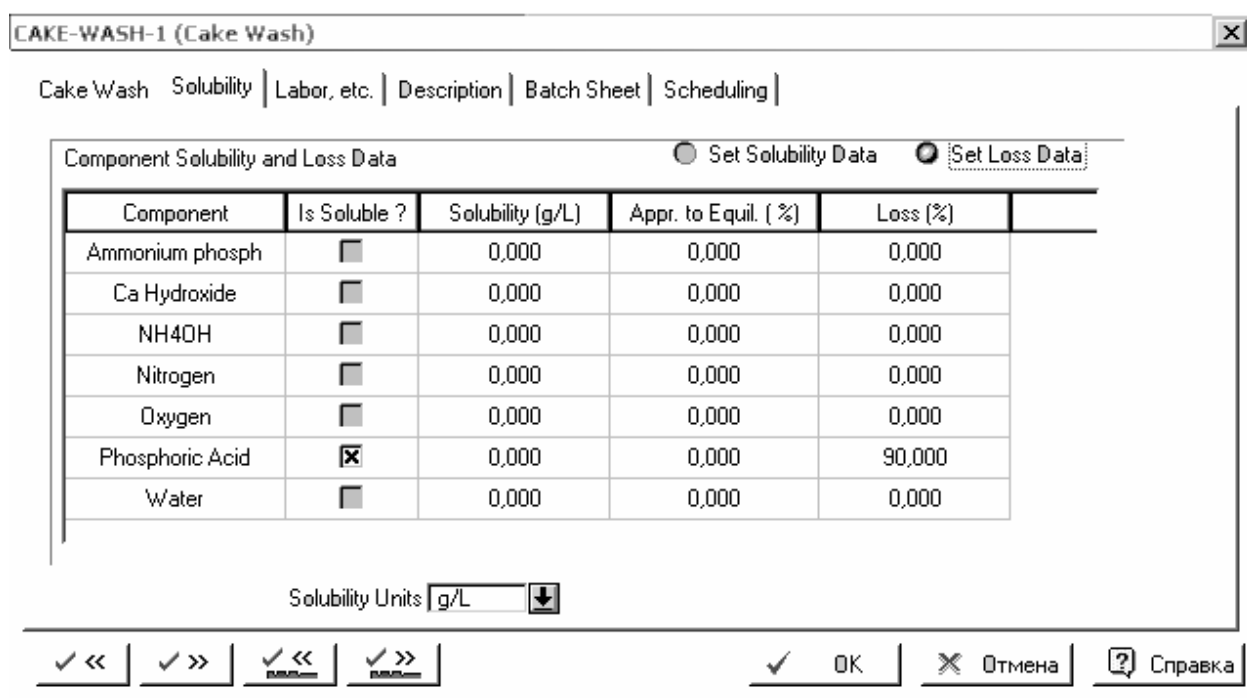


Рис. 55. Закладка растворимости компонентов осадка (**Solubility**) диалогового окна операции промывки осадка (**CAKE WASH-1**)

Закладка растворимости компонентов осадка (**Solubility**) диалогового окна операции промывки осадка (**CAKE WASH-1**) (рис. 55) содержит таблицу (**Component Solubility and Loss Data**), где задаются растворимости (**Solubility**) компонентов осадка (г/л) или процент потерь (**Loss**) при промывке осадка. Для этого в столбце **Is Soluble** необходимо отметить  напротив растворимого компонента и выбрать кнопку задавать данные растворимости компонента ( **Set Solubility Data**) или процент потерь компонента при промывке ( **Set Loss Data**). Если выбрана кнопка задавать данные растворимости компонента ( **Set Solubility Data**), то в столбце растворимости (**Solubility**) указывается величина равновесной растворимости компонента в г/л, а в столбце (**Appr. to Equil.**) задается процент приближения к равновесию для растворимости компонента. При выборе кнопки процента потерь компонента при промывке ( **Set Loss Data**), в столбце потерь компонента при промывке (**Loss**) указывается величина потерь в процентах от общего содержания в осадке.

NEUTRALIZE-1 (Neutralization)

Oper.Cond's | Volumes | Reactions | Vent/Emissions | Labor, etc. | Description | Batch Sheet | Scheduling

**Thermal Mode**

Set Exit Temp. 25,15 °C

Adiabatic

Set Duty

Heating 0,00 kcal/h

Cooling 0,00 kcal/h

**Excess Neutralizing Agent** Set by User

Inlet Stream S-106

Excess Amount 90,00 %

Agent Component NH4OH

**Heat Transfer Agent**

Name Steam

Inlet Temp. 152,00 °C

Outlet Temp. 152,00 °C

Rate 0,00 kg/h

**Power Consumption (for agitation, etc.)**

Set Specific Power 0,500 kW/m3

Set Power 0,05 kW

OK Отмена Справка

Рис. 56. Закладка условий операции (**Oper.Cond's**) диалогового окна операции нейтрализации сточных вод (**NEUTRALIZE-1**)

Закладка условий операции (**Oper.Cond's**) диалогового окна операции нейтрализации сточных вод (**NEUTRALIZE-1**) (рис. 56) содержит разделы: температурный режим (**Thermal Mode**), избыток нейтрализующего агента (**Excess Neutralizing Agent**), теплоноситель (**Heat Transfer Agent**) и потребление мощности на операцию (**Power Consumption**). Раздел температурного режима (**Thermal Mode**) позволяет определить порядок изменения температуры процесса нейтрализации. Пользователь может задать температуру нейтрализованного потока на выходе из реактора ( **Set Exit Temp.**), выбрать адиабатический режим ( **Adiabatic**), когда изменение температуры потока происходит за счет теплоты нейтрализации, или установить нагрев ( **Heating**) или охлаждение ( **Cooling**) нейтразуемого потока (ккал/час) за счет теплоносителя или хладагента, определяемого в разделе **Heat Transfer Agent**. Раздел избытка нейтрализующего агента (**Excess Neutralizing Agent**) позволяет определить штуцер для входа нейтрализующего агента (**Inlet Stream**), а также в окне

выпадающего списка (**Agent Component**) выбрать компонент, участвующий в реакции нейтрализации. Избыток нейтрализующего агента определяется программой или задается пользователем, если отмечена кнопка ( **Set by User**) в окне редактирования **Amount**.

Рис. 57. Закладка условий операции (**Oper.Cond's**) диалогового окна биологической очистки (**BIODEGRADE-1**)

Закладка условий операции (**Oper.Cond's**) (рис. 57) диалогового окна биологической очистки (**BIODEGRADE-1**) позволяет установить в разделе характеристики аэрации (**Aeration Data**) аэротенка: входной поток (**Inlet Stream**), систему аэрации (**Aeration System**) и удельное потребление воздуха (**Air Requirement**)  $\text{м}^3(\text{воздуха}) / \text{м}^3(\text{сточной воды}) / \text{минуту}$ , а также концентрацию растворенного кислорода (**Dissolved Oxygen Conc.**) в г/л. Для аэрирования можно выбрать механическую аэрацию (**Surface Air**) или барботажную аэрацию (**Diffused Air**).



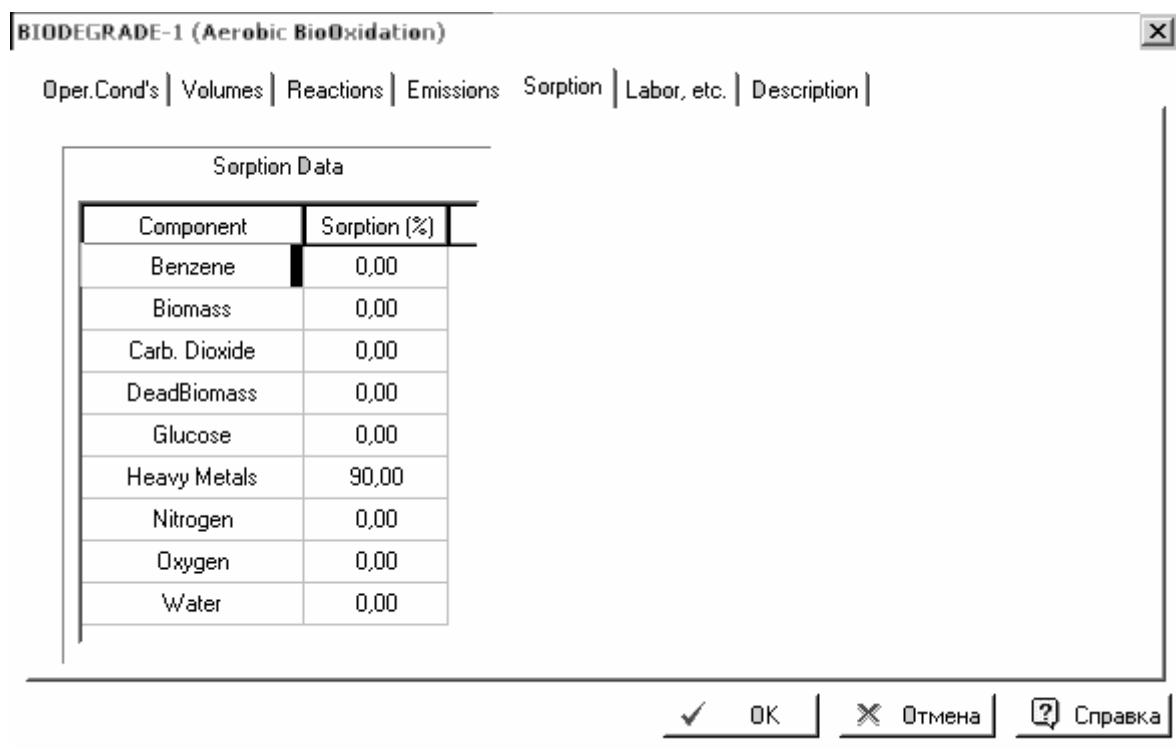


Рис. 58. Закладка сорбции веществ на активном иле (**Sorption**)

диалогового окна биологической очистки (**BIODEGRADE-1**)

На закладке сорбции веществ на активном иле (**Sorption**) диалогового окна биологической очистки (**BIODEGRADE-1**) (рис. 58) необходимо указать в таблице (**Sorption Data**) степень сорбции на активном иле веществ, присутствующих в очищаемой сточной воде и не подвергающихся биодegradации (тяжелые металлы).

Диалоговое окно кинетики реакции (**Kinetics for**) биологического окисления компонента (**BIODEGRADE-1**) (рис. 59) в аэротенках содержит разделы: кинетики реакции окисления субстрата (**S-Term**), кинетики реакции прочих компонентов, участвующих в биологическом окислении (**O-Term**), кинетики реакции превращения биомассы в ходе окисления (**B-Term**) и порядок расчета коэффициента неконсервативности реакции биологического окисления (**k**). Первоначально определяется в окне выпадающего списка (**Rate Ref. Comp.**), по какому компоненту будет рассчитываться скорость реакции. В разделе кинетики реакции окисления субстрата (**S-Term**) в окне выпадающего списка (**Substrat**) выбирается окисляемый компонент.

**Kinetics for Glucose Degradation**

Rate =  $k$  × {S-Term} × {O-Term} × {B-Term}

(in mg/L-h)    Constant    Substrate Term    Other Term    Biomass Term

Rate Ref. Comp.

S-Term  
Substrate

Monod  $\frac{[S]}{K_s + [S]}$   $K_s$   mg/L

Haldane  $\frac{[S]}{K_s + [S] + [S]^2/K_i}$   $K_s$   mg/L  $K_i$   mg/L

Grau  $\frac{[S]}{[S]_{in}}$

First Order  $[S]$

None

$k$

Set by User  1/h

Calculated

Reaction Type

Biodegradation  $k_{max_0}$   1/h

$k = k_{max_0} \theta^{T-T_0}$   $T_0$   °C  $\theta$

Other  $k = k_0 e^{-E/RT}$   $k_0$   1/h  $E$   kcal/mol

O-Term

$K_o$   mg/L

Other Comp.

Monod  $\frac{[O]}{K_o + [O]}$

Inhibition  $\frac{K_o}{K_o + [O]}$

None

B-Term

Biomass Component

First Order  $[B]$

None

OK     Cancel     Help

Рис. 59. Диалоговое окно кинетики реакции (**Kinetics for**) биологического окисления компонента (**BIODEGRADE-1**)

В этом разделе также необходимо выбрать кинетическое уравнение, по которому будет рассчитываться процесс окисления: уравнение Моно ( **Monod**), уравнение Халдана ( **Haldane**), уравнение Грау ( **Grau**), уравнение первого порядка ( **First Order**) или не учитывать в расчете окисление компонента ( **None**). Здесь же задаются константы сродства к субстрату  $K_s$  и константа ингибирования процесса продуктами реакции  $K_i$  для выбранных уравнений. Раздел кинетики реакции для прочих компонентов, участвующих в биологическом окислении (**O-Term**), позволяет в окне выпадающего списка (**Other Component**) определить компонент и выбрать тип кинетического уравнения для прочего компонента: уравнение Моно ( **Monod**), уравнение ингибирования ( **Inhibition**) или не учитывать в расчете окисление прочего компонента ( **None**). Здесь же

задается константа сродства к субстрату  $K_o$  для прочего компонента. Раздел кинетики реакции превращения биомассы в ходе окисления (**B-Term**) позволяет в окне выпадающего списка (**Biomass Component**) определить компонент, представляющий биомассу, и выбрать тип кинетического уравнения для биомассы: уравнение первого порядка ( **First Order**) или не учитывать в расчете биомассу ( **None**). Раздел порядка расчета коэффициента неконсервативности реакции биологического окисления (**k**) позволяет задавать коэффициент неконсервативности (1/час) самому пользователю ( **Set by User**) или рассчитать ( **Calculated**) по двум типам уравнений (**Reaction Type**): уравнение реакции биодegradации ( **Biodegradation**) или уравнение Аррениуса ( **Other**). Для уравнения реакции биодegradации (**Biodegradation**) необходимо указать максимальную начальную скорость окисления  $k_{max_o}$  (1/час), начальную температуру  $T_o$  (°C) и коэффициент  $\Theta$ . Для уравнения Аррениуса ( **Other**) необходимо указать величину предэкспоненты  $k_o$  (1/час) и значение энергии активации  $E$  (ккал/моль).

### 1.10. Установление лимитов выбросов веществ при моделировании в программе SuperPro Designer

Категорирование используется, чтобы распределить все сырье и атмосферные примеси в соответствующую категорию и подкатеорию и установить для него лимиты выбросов (**Emission Limits**). Вы можете определить лимиты выбросов, выбирая **Preferences / Emission Limits...** из меню потока (рис. 60).

В результате действий появляется диалоговое окно категорий и установления лимитов выбросов (**Emission Limits**) (рис. 61), где для категорий компонентов устанавливаются лимиты. В некоторых случаях материал может появиться в больше чем одной категории. Например, тяжелая органика с парциальным давлением паров меньше 1 мм рт.ст. может быть обнаружена (в зависимости от температуры) методом испытания

воздуха NJ 3 как газ и/или методом 1, как аэрозоль. Материал может бы размещен в общей категории VOC (**Total VOC**) (подкатегория: другие VOC (**OTHER VOC**)), также и в категории общие взвешенные (**Total Particulate**) (подкатегория: **LOC**).

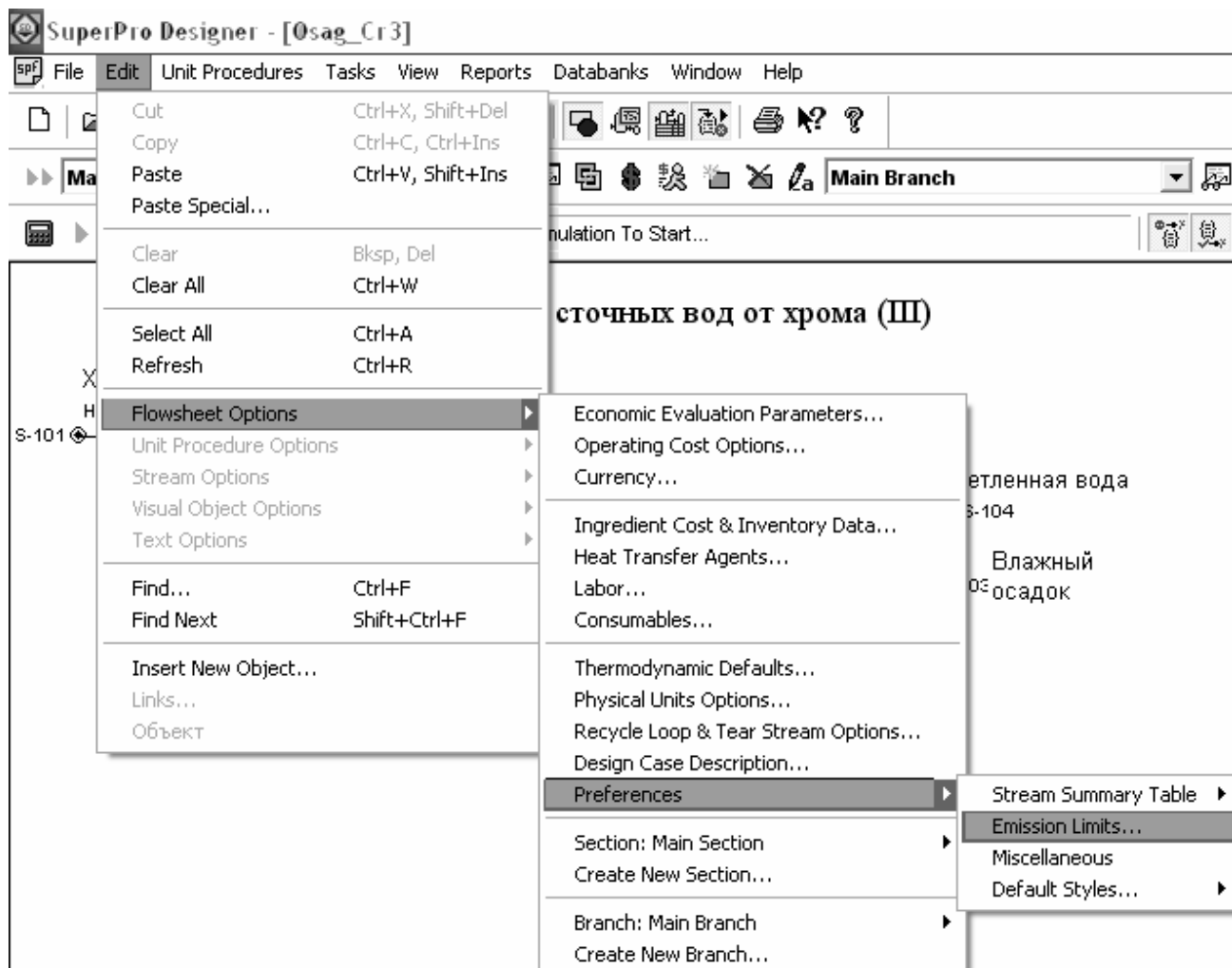


Рис. 60. Выбор подменю **Emission Limits...** для установления лимитов выбросов

Кроме того, кислота может появиться в категории общие взвешенные (**Total Particulate**) и в категории кислые газы (**Acid Gases**) в зависимости от того, взаимодействует ли кислота с водой, чтобы образовать аэрозоль. Если известно, что материал не относится к двойным категориям и подкатегориям, двойное определение не требуется.

Двойное определение рекомендуется, когда есть неопределенность относительно того, как материал будет вести себя во время процесса. Про-

Designer позволяет вносить вещества в двойной список более чем в одну категорию (см. прил. 1).

Pro-Designer позволяет Вам определять еще до пяти категорий (определенные пользователем категории загрязняющего вещества) в случае, если ваши расчеты того требуют, чтобы вы поступили таким образом. Вы можете определить эти дополнительные категории (наряду с их предельно допустимыми выбросами и сбросами).

Category	Value	Unit
Всего ТВЧ	0,2288	кг/ч
Биологических	0,0000	кг/ч
Радионуклидов	0,0000	кг/ч
бестсодержащих	0,0000	кг/ч
Диоксинов	0,0000	кг/ч
ЛОС	0,0000	кг/ч
НАР	0,0000	кг/ч
Cr+6	0,0005	кг/ч
Металлы	0,0045	кг/ч
Прочие ТВЧ	0,0000	кг/ч
Всего кислых	0,0000	кг/ч
НАР-кислые	0,0000	кг/ч
кислые	0,0000	кг/ч
Total ETG	0,0000	кг/ч
НАР-Gas	0,0000	кг/ч
Газ (non-НАР)	0,0000	кг/ч
CO	1,8144	кг/ч
NOx	1,8144	кг/ч
SO2	1,8144	кг/ч
Щелочи	1,8144	кг/ч
(none)	0,0000	кг/ч
(none)	0,0000	кг/ч
(none)	0,0000	кг/ч
(none)	0,0000	кг/ч

Рис. 61. Диалоговое окно категорий и установления лимитов выбросов  
(Emission Limits)

Все атмосферные выбросы и используемое сырье могут быть охарактеризованы, используя эти стандартные категории. Материалы, которые точно не описаны вышеупомянутыми категориями и подкатегориями, могут быть внесены в список индивидуально или включаться под одной из дополнительных пяти определенных пользователем категорий, которые **SuperPro Designer** позволяет вводить.

## 1.11. Классификация потоков моделируемого процесса в программе SuperPro Designer

В меню **Tasks** выберите подменю **Stream Classification**. В появившемся диалоговом окне классификации потоков (**Stream Classification**) (рис. 62) необходимо дать классификацию для входных и выходных потоков процесса.

Входящие потоки (**Classifications of input streams**) в диалоговом окне могут быть классифицированы следующим образом:

- а) сырье (**raw material**);
- б) доход или продукт, полупродукт (**revenue**).

**Stream Classification**

Classification of Output Streams

	Stream Name	Classification	Treatment/Disposal Cost or Selling Price (\$/kg) or (\$/entity)	Set By User	Hazardous?
1	S-103	Solid Waste	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	S-104	Aqueous Waste	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Classification of Input Streams

	Stream Name	Classification	Purchase Price or Processing Fee (\$/kg) or (\$/entity)	Set By User
1	S-106	Raw Material	0,000000	<input type="checkbox"/>
2	S-101	Revenue	0,000000	<input type="checkbox"/>

Main Product Rate (Product Unit Cost Reference Rate)  
Used for reporting production cost in \$/kg produced or processed

Stream: S-101

Show Revenue Streams Only  
 Show All Streams

Flow:  
 Total (Entire Stream Flow)  
 Single Component in the Stream

Component: Sodium Dichroma

OK Cancel Help

Рис. 62. Диалоговое окно классификации потоков (**Stream Classification**)  
Сырьевые потоки (**raw material**)

Выходящие потоки (**Classifications of output streams**) в диалоговом окне классифицируются как:

- а) доходный или готовый продукт, полупродукт (**revenue**);
- б) твердые отходы (**solid waste**);
- в) сточные воды (**aqueous waste**);
- г) сточные воды, содержащие органические соединения (**organic waste**);
- д) выбросы в окружающую среду (**emission**).

Кроме того, выходящий поток в диалоговом окне может быть помечен как опасный, но эта маркировка не воздействует на экономическую оценку. Данная пометка оказывает влияние только на отчет воздействия на окружающую среду. В столбце **Hazardous?** (опасный?) для выходящего потока необходимо пометить кнопку для опасных отходов.


Поток сырья (**raw material**), являющийся всегда входящим потоком, имеет свою стоимость. Классифицируя входящий поток как сырье, мы объявляем системе, что должны учитывать расход входящего потока, и поэтому его расход рассматривается в разделе расходов во время экономических вычислений в соответствии со стоимостью сырья. Стоимость сырьевого потока оценивается программой, основанной на покупательной цене каждого ингредиента, в соответствии с его массовой долей.

#### Потоки дохода (продукта, полупродукта) (**revenue**)


Поток дохода, продукта или полупродукта (**revenue**), с другой стороны, является любым потоком, который может быть связан с получением дохода и связан с моделируемым процессом. Как правило, поток дохода, продукта или полупродукта – выходящий поток, который имеет свою стоимость. В этом случае это то, что мы назовем выходящим потоком продукта. Большинство разработанных производственных процессов выпускают наряду с главным продуктом полупродукты и побочные продукты, которые имеют свою отпускную цену. Продукты, полупродукты и побочные продукты - источники дохода для производственного процесса. Однако для определенных процессов (сооружения очистки сточных вод) не существует

производимого ими химического продукта. В этом случае имеет смысл связывать их ежегодные доходы с входящим потоком, а не выходящим. Например, можно представить станцию по очистке сточной воды, которая получает доход, основанный на количестве очищенной сточной воды (\$/обработанной кг-воды). В этом случае главный поток дохода должен быть входящий поток. Поэтому понятие потока дохода (**revenue**) (то есть, потока, от которого проект, как ожидают, получает доходы) должно быть расширено на входящие и выходящие потоки. Доход на единицу массы для каждого потока дохода (то есть отпускная цена для потоков продукта) оценивается системой, основываясь на отпускных ценах каждого из компонентов, которые рассчитывают на основе их массовых фракций. Альтернативно, цена на единицу может быть просто установлена пользователем **Set by user (\$/kg-mixture-basis)**. Чтобы установить отпускную цену потока, просто нажмите на кнопку **Set by user** в ряду, который соответствует тому потоку, и затем введите значение в клетке отпускной цены (столбик **Treatment / Disposal cost or Selling price** или столбик **Purchase price or Processing fee**).

### 1.12. Расчет материального баланса в программе SuperPro Designer

Для того чтобы рассчитать материальный баланс моделируемого процесса, нужно щелкнуть мышкой иконку  **Solve ME Balances (F9)**, или в меню **Task** выбрать подменю **Solve M&E Balances** (рис. 3).

### 1.13. Выполнение экономических расчетов в программе SuperPro Designer

Для того чтобы выполнить экономический расчет моделируемого процесса, нужно щелкнуть мышкой иконку  **Perform Economic Calculations (Shift+F9)**, или в меню **Task** выбрать подменю **Perform Economic Calculations** (рис. 3).



## 1.14. Получение отчетов в программе SuperPro Designer

Программа позволяет получить набор отчетов по результатам моделирования. Для того чтобы получить отчет по моделируемому процессу, необходимо в меню **Task** выбрать следующие подменю (рис. 63):

- отчет по составу потоков и материальному балансу процесса (**Streams & Mat. Balance (SR)**);
- отчет об экономике процесса (**Economic Evaluation (EER)**);
- отчет анализа прибыли и убытков процесса (**Cash Flow Analysis (CFR)**);
- отчет о расчетной стоимости сырья, материалов и обслуживающего персонала (**Itemized Cost (ICR)**);
- отчет об анализе производительности процесса (**Throughput Analysis (THR)**);
- отчет о воздействии процесса на окружающую среду (**Environmental Impact (EIR)**);
- отчет о выбросах в атмосферу (**Emission (EMS)**);
- отчет о характеристиках и стоимости оборудования (**Equipment (EQR)**);
- отчет о введенных данных для процесса (**Input Data (IDR)**).

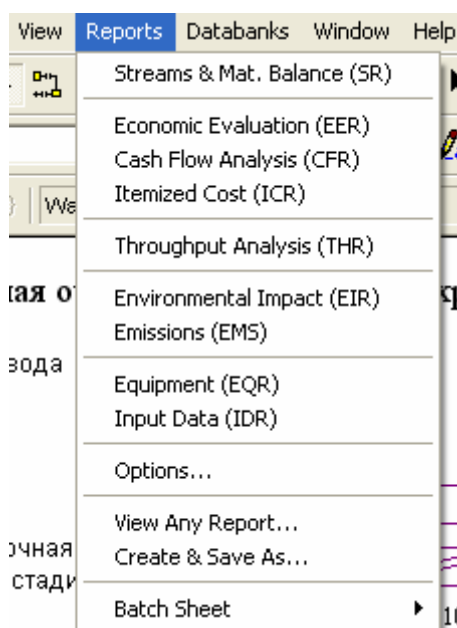


Рис. 63. Меню получения отчетов в программе SuperPro Designer

## **2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ МЕТОДОМ АДСОРБЦИИ»**

### **2.1. Цель работы**

1. Изучение теоретических основ и возможностей технологии адсорбционного метода очистки газовых выбросов предприятий.
2. Изучение процесса моделирования адсорбционного метода очистки и предотвращения загрязнения окружающей среды в программе **SuperPro Designer**.
3. Выбор оптимальных режимов процесса адсорбции.

### **2.2. Основные положения**

Суть адсорбционного метода очистки газовых выбросов заключается в поглощении загрязняющего вещества твёрдым пористым материалом.

Твёрдый поглотитель называют адсорбентом (или просто сорбентом), поглощаемый компонент (загрязняющее вещество) в газовой фазе - адсорбтивом, в сорбированном (поглощённом) состоянии - адсорбатом.

Сорбционными свойствами в разной степени обладают практически все твёрдые материалы, однако практическое применение нашли только материалы, имеющие сильно развитую поверхность (с большим числом пор).

Число пор в единице объёма или массы сорбента зависит от размера этих пор. По размеру пор твёрдые поглотители разделяют на следующие типы: микропористые (величина эффективного радиуса пор 5-15 ангстрем), переходнопористые (15-2000 ангстрем), макропористые (более 2000 ангстрем). Обычно один и тот же сорбент имеет поры различных размеров, и целесообразно говорить лишь о преобладании того или иного размера пор, определяющего тип сорбента.

Кроме пористости (% объёма всех пор от объёма сорбента) и радиуса пор важнейшими техническими характеристиками сорбентов являются удельная поверхность (площадь поверхности всех пор в единице массы или объёма сорбента) и сорбционная ёмкость (способность к поглощению

определённой массы загрязняющего вещества единицей массы или объёма сорбента). Сорбционная ёмкость может быть статической или динамической в зависимости от условий проведения процесса очистки.

Наибольшее распространение в промышленности для очистки воздушных потоков получили такие сорбенты, как активированные угли, силикагели, алюмогели, алюмосиликаты, органические смолы.

Равновесие процесса адсорбции (статика процесса) характеризуется зависимостью количества загрязняющего вещества, поглощённого единицей массы или объёма сорбента, от температуры и концентрации (парциального давления) загрязняющего вещества в очищаемом воздухе. В случае постоянства температуры эта зависимость называется изотермой адсорбции. Вид изотермы адсорбции определяется в основном характером пор сорбента.

Кинетика процесса адсорбции характеризуется скоростью его протекания, которая, в свою очередь, определяется сочетанием внешнего (перемещение адсорбтива в воздушном потоке к поверхности сорбента) и внутреннего (перемещение адсорбата внутри пор сорбента) переноса.

На практике при изучении конкретных условий процесса адсорбции (загрязняющее вещество, сорбент, температура, расход очищаемого воздуха, исходная концентрация загрязняющего вещества и т.д.) удобным для определения характеристик процесса является построение зависимости времени защитного действия слоя от высоты слоя сорбента. С помощью этой зависимости можно определить такие важные параметры процесса, как период формирования фронта адсорбции, предельную высоту слоя, коэффициент защитного действия, рассчитать время работы до регенерации для различных областей изотермы адсорбции.

### **2.3. Задание на моделирование процесса адсорбционной очистки выбросов**

Моделируемый технологический процесс представлен на рис. 64. Варианты заданий приведены в табл. 2. Органическое вещество Р,

применяемое в производстве, подается на хранение (поток **S-101**) в хранилище периодического типа (**V-101**) массовым количеством **M** кг/цикл. Процедуры, выполняемые в хранилище периодического типа: наполнение хранилища органическим веществом (**Charge**), хранение (**Store**) и подача его в производство (**Transfer-out**). Массовый расход при наполнении хранилища органическим веществом и при его подаче в производство составляет **W** кг/ч. Хранение осуществляется в течение **U** часов. Из хранилища (**V-101**) органическое вещество периодически сливается (поток **S-102**) для использования в производстве. Через дыхательный клапан аппарата для хранения органического вещества (**V-101**) при операции наполнения выбрасывается воздух (поток **S-103**), загрязненный парами органического вещества. Выбрасываемый воздух подается на очистку в адсорбер (**GAC-101**), где очищается от паров органического вещества на адсорбенте из активированного угля. Масса загрузки активированного угля для очистки газа составляет **S** кг. Степень адсорбции органического вещества в адсорбере (**GAC-101**) составляет **Y**%. Очищенный воздух выбрасывается в атмосферу (поток **S-104**). Лимит выброса (ПДВ) для органического вещества составляет **Z** кг/ч. Регенерация адсорбента осуществляется горячим воздухом (поток **S-105**) при температуре **T** °C удельном расходе **X** кг/м<sup>3</sup>. Уловленное органическое вещество после регенерации направляется на утилизацию (поток **S-106**).

#### 2.4. Порядок выполнения задания

1. Изучите теоретические основы процесса адсорбции и технологическую схему моделируемого процесса в соответствии с заданием.
2. Запустите программу SuperPro Designer, создайте новый проект и определите тип моделируемого процесса (периодический или непрерывный) в соответствии с разделом 1.1.

Таблица 2

## Варианты заданий для моделирования процесса адсорбции

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
Органическое вещество <b>P</b>	ацетон	толуол	гексан	бензол	метанол	пропанол
Количество органического вещества <b>M</b> , кг/цикл	300	200	50	100	250	400
Время хранения органического вещества <b>U</b> , часов	1	0,5	2	0,25	1,5	3
Массовый расход при наполнении и подаче в производство <b>W</b> , кг/ч	600	500	400	700	550	650
Степень адсорбции <b>Y</b> %	95	80	75	85	90	70
Температура воздуха для регенерации <b>T</b> , °C	75	90	100	120	130	80
Удельный расход воздуха на регенерацию <b>X</b> , кг (воздуха) / м <sup>3</sup> (адсорбента)	130	100	150	50	80	140
Масса загрузки АУ <b>S</b> , кг	100	150	120	200	180	140
Лимит выброса органического вещества <b>Z</b> , кг/ч	0,25	1,00	0,50	0,8	0,6	1,25

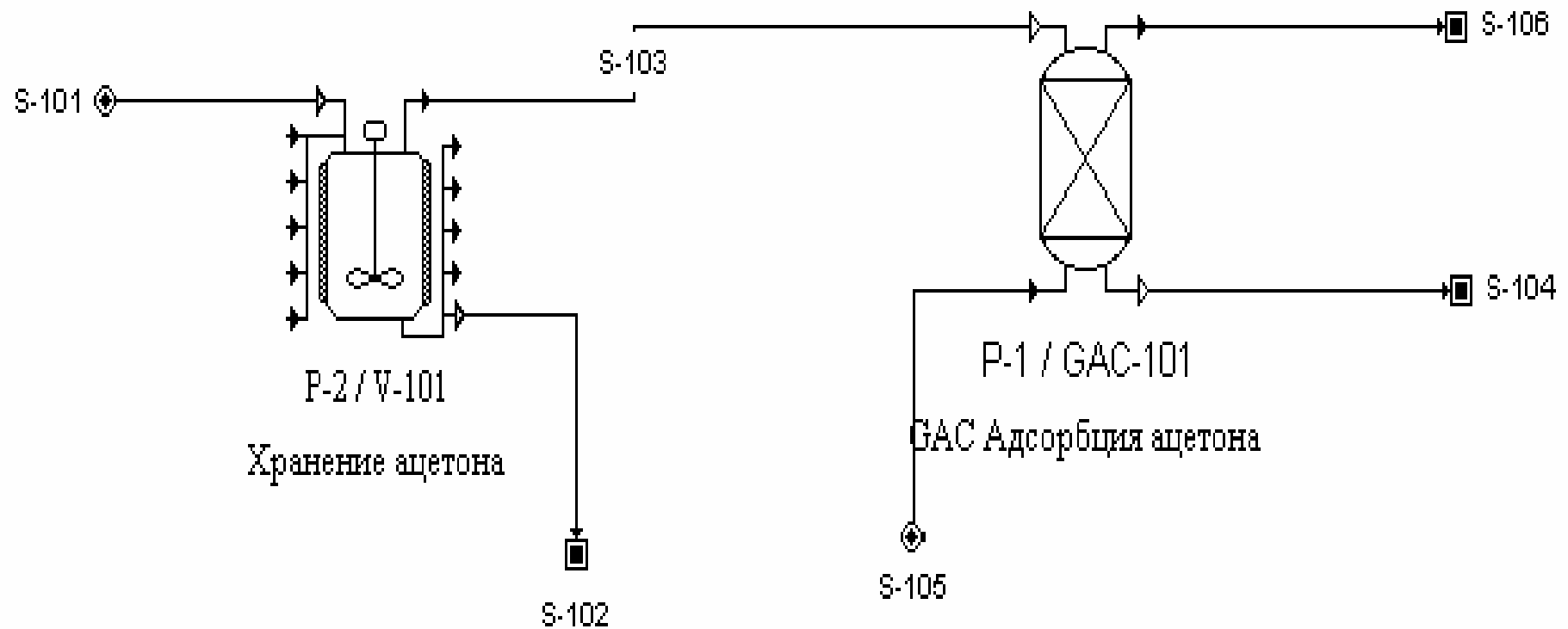


Рис. 64. Схема процесса очистки выбросов от ЛОС адсорбционным методом:

поток **S-101** - растворитель на хранение;  
 поток **S-102** - растворитель в производство;  
 поток **S-103** – воздух, загрязненный ЛОС,  
 через дыхательный клапан на адсорбционную очистку;

поток **S-104** – очищенный воздух на выброс;  
 поток **S-105** – горячий воздух на регенерацию адсорбента;  
 поток **S-106** – уловленный ацетон на утилизацию;

3. Зарегистрируйте компоненты и газовые смеси, которые будут участвовать при моделировании процесса адсорбционной очистки газовых выбросов, в программе SuperPro Designer в соответствии с разделами 1.2-1.5.

4. Расположите оборудование в поле окна моделирования программы SuperPro Designer и соедините оборудование технологическими потоками в соответствии с рекомендациями разделов 1.6-1.7. После того, как оборудование соединено технологическими потоками, обязательно сохраните ваш проект, воспользовавшись меню **File\Save as...** под оригинальным именем.

5. Инициализируйте технологические потоки, которые будут подаваться через штуцеры в оборудование, указав в соответствии с рекомендациями раздела 1.8 температуру потока, массовый расход и т.д..

6. Инициализируйте размещенное в окне моделирования программы оборудование в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.9.

7. Введите установленные для вещества лимиты выбросов в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.10.

8. Проведите классификацию потоков моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.11.

9. Выполните расчет материального баланса моделируемого процесса в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.12.

10. Выполните экономические расчеты для моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.13.

11. Постройте диаграммы Ганта для операции и оборудования, диаграммы загрузки оборудования, следящую диаграмму потребления ресурса.

12. Сгенерируйте отчеты:

- расчет потоков и материального баланса;
- экономический расчет;
- расчет анализа прибылей и убытков;
- расчет воздействия на окружающую среду;

- расчет выбросов;
- расчет моделируемого оборудования.

13. Проанализируйте результаты моделирования на основании построенных диаграмм и полученных отчетов.

14. Рекомендуйте оптимальные режимы процесса адсорбции.

15. Сделайте выводы по результатам моделирования, оформите и сдайте отчёт.

### **3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ»**

#### **3.1. Цель работы**

1. Изучение теоретических основ и возможностей технологии электрокаталитической очистки сточных вод от органических загрязнителей.

2. Оценка возможности возврата очищенной воды в производство и создания замкнутых водооборотных циклов.

3. Выбор оптимальных режимов электрокаталитической очистки сточных вод от органических загрязнителей.

#### **3.2. Основные положения**

Суть метода электрокаталитической очистки сточных вод заключается в деструкции загрязнителей (красителей, ПАВ и др.) при обработке воды в электрохимическом реакторе на нерастворимых электродах. Действующими факторами при этом являются процессы анодного окисления, катодного восстановления, продукты электрохимических реакций, каталитический эффект.

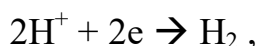
В технологии водоочистки в качестве катализаторов используют металлы переменной валентности (Mn, Cu, Ni, Fe, Co, Zn, Rn) и их соединения, в основном оксиды. На практике катализатор наносят на металл-



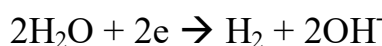
основу электродов, вводят в межэлектродное пространство или вводят его в поток жидкости после электролиза в специальном реакторе.

При наложении внешнего электрического поля на катоде происходит электрокаталитическое восстановление органических соединений (в данном случае красителей, ПАВ) и выделение водорода:

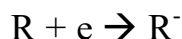
в кислых растворах



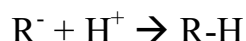
в нейтральных и щелочных растворах



Органическое вещество (загрязнитель), R, на катоде восстанавливается до органического аниона:



с последующей стадией нейтрализации данного аниона с образованием продукта гидрирования:



Однако многие органические соединения электрохимически восстанавливаются с высоким перенапряжением. Это требует больших затрат энергии, особенно в условиях обработки больших объёмов сточных вод. Восстанавливающим агентом, таким образом, в значительной степени является выделяющийся на катоде водород.

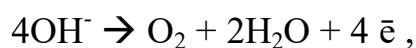
На аноде деструкция органического вещества происходит вследствие его окисления непосредственно на электроде или под действием окисляющих агентов, образующихся на аноде.

Непосредственно на аноде загрязнитель окисляется с одновременной или предшествующей дегидратацией:

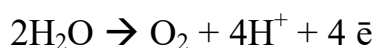


Дальнейшее превращение определяется реакционной способностью радикала R\*.

Окисляющими агентами, образующимися на аноде, являются: кислород  
в щелочной среде



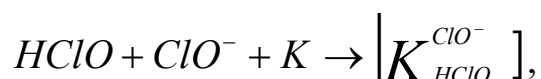
в кислой и нейтральной



и активный хлор - смесь  $\text{Cl}_2$  и продуктов его гидролиза - гипохлорит - иона и др. (в случае присутствия в обрабатываемом стоке хлорид- ионов):



Общим положением существующих к настоящему времени теорий катализа является образование промежуточного активированного комплекса, на котором лежит главная ответственность за перераспределение энергий связи в реагирующих молекулах. В случае активного хлора это может быть представлено схемой:

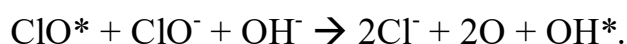


где К - катализатор.

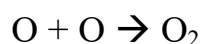
Распад комплекса сопровождается образованием радикалов  $\text{ClO}^*$ , возвращением катализатора в исходное состояние и подкислением среды:



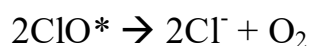
Активные радикалы  $\text{ClO}^*$  участвуют в реакции образования атомарного кислорода и радикалов  $\text{OH}^*$ :



Далее образуется молекулярный кислород:



Он может также образовываться в результате гибели радикалов  $\text{ClO}^*$ :

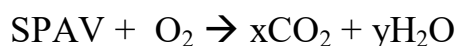


Очевидно, что образование кислорода в той или иной форме в данном случае определяется типом и активностью катализатора. Использование последнего позволяет интенсифицировать процесс деструкции загрязнителя и добиться более эффективной очистки сточных вод.

### 3.3. Задание на моделирование процесса электрокаталитической очистки сточных вод

Моделируемый технологический процесс представлен на рис. 65. Варианты заданий приведены в табл. 3. Сточная вода, содержащая взвешенные вещества и органическое вещество, концентрацией **WZW** г/л и **SPAV** г/л соответственно, первоначально подается (поток **S-101**) в фильтр с гранулированной загрузкой (**GMF-101**), где происходит очистка от взвешенных веществ. Расход сточной воды **M** кг/ч. Степень очистки от взвешенных веществ **X** %. Процедуры, выполняемые в фильтре с гранулированной загрузкой **GMF-101**: фильтрование и обратная промывка (**Bakwash**). Гранулированная загрузка фильтра (**GMF-101**) регенерируется обратной промывкой (поток **S-103**) водой при удельном расходе **S** кг/м<sup>3</sup>. Промывная вода после фильтра с гранулированной загрузкой направляется (поток **S-105**) на отстаивание. Фильтр содержит несколько слоев гранулированной загрузки % составом **N**, **L** и **M**. Медианный диаметр частиц слоев составляет **Nd**, **Ld** и **Md** мм. Емкость слоев загрузки по взвешенным веществам составляет **EN**, **EL**, **EM** г/см<sup>3</sup>. Плотность гранулированной загрузки одинаковая- 1600 г/л и пористость 40%, 35% и 20% соответственно. Фактор формы 0,85. Очищенная от взвешенных веществ вода (поток **S-102**) направляется на электрокаталитическую очистку в реактор идеального смешения периодического действия (**V-101**). Процедуры, выполняемые в электрокаталитическом реакторе идеального смешения периодического действия (**V-101**): наполнение реактора сточной водой для очистки от органических загрязнителей (**Charge**), перемешивание раствора (**Agitate**), проведение электрокаталитической реакции (**Reaction**) и слив очищенной воды (**Transfer-out**). Массовый расход при наполнении реактора сточной водой для очистки и при сливе очищенной сточной воды составляет **W** кг/ч. Продолжительность перемешивания соответствует продолжительности протекания электрокаталитического окисления. При электрокаталитическом

окислении протекают реакции (число молекул воды и диоксида углерода  $x$  и  $y$  зависит от структуры органического вещества):



Константы скоростей реакций:  $K_1$ ,  $K_2$ . Очищенная сточная вода сбрасывается в водоем, горколлектор или направляется для повторного использования (поток **S-105**). При осуществлении процесса электрокаталитической очистки в реакторе **V-101** выделяются газы, которые удаляются с вентиляционным выбросом (поток **S-106**). Лимит выброса (ПДВ) выделяющего из реактора токсичного вещества составляет  $Z$  кг/ч.

### 3.4. Порядок выполнения задания

1. Изучите теоретические основы электрохимических процессов очистки сточных вод от органических загрязнителей и технологическую схему моделируемого процесса в соответствии с заданием.

2. Запустите программу SuperPro Designer, создайте новый проект и определите тип моделируемого процесса (периодический или непрерывный) в соответствии с разделом 1.1.

3. Зарегистрируйте компоненты и готовые смеси, которые будут участвовать при моделировании электрохимических процессов очистки сточных вод от органических загрязнителей, в программе SuperPro Designer в соответствии с разделами 1.2-1.5.

4. Расположите оборудование в поле окна моделирования программы SuperPro Designer и соедините технологическими потоками в соответствии с рекомендациями разделов 1.6-1.7. После того как оборудование соединено технологическими потоками, обязательно сохраните ваш проект, воспользовавшись меню **File\Save as...** под оригинальным именем.

5. Инициализируйте технологические потоки, которые будут подаваться через штуцеры в оборудование, указав в соответствии с рекомендациями раздела 1.8 температуру потока, массовый расход и т.д..

Таблица 3

## Варианты заданий для моделирования электрокаталитического окисления

Параметры	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
Органическое вещество <b>SPAV</b>	додеканол	фенол	бензол	толуол	ксилол	формальдегид
взвешенное вещество <b>WZW</b>	Al(OH) <sub>3</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	NiO	MgO
Концентрация органического вещества <b>SPAV</b> , г/л	1	2	0,5	1,5	0,8	1,2
Концентрация взвешенных веществ <b>WZW</b> , г/л	5	3	1	4	2	0,5
Расход сточной воды <b>M</b> , кг/час	500	600	400	200	450	550
Степень очистки от взвешенных веществ <b>X</b> , %	95	99	90	80	85	92
Удельный расход воды на промывку <b>S</b> , кг (воды) / м <sup>3</sup> (загрузки)	250	500	300	400	350	450
% от общей высоты слоя: 1 слой N	50	40	50	70	80	35
2 слой L	25	40	50	30	20	35
3 слой M	25	20	-	-	-	30
Емкость слоя по взвешенным, г/см <sup>3</sup> : 1 слой EN	50	60	40	50	70	40
2 слой EL	35	40	25	35	60	30
3 слой EM	20	30	-	-	-	15
Медианный диаметр частиц, мм: 1 слой N	0,6	1,0	1,0	0,5	1,5	1,0
2 слой L	1,0	1,5	2,0	1,5	2,5	2,0
3 слой M	2,0	3,0	-	-	-	3,0
Массовый расход <b>W</b> , кг/ч	600	500	700	550	800	750
Лимит выброса (ПДВ) <b>Z</b> , кг/ч	10	1	25	5	15	8
Константы скорости реакций						
<b>K<sub>1</sub></b>	0,01	0,08	0,15	0,1	0,001	0,1
<b>K<sub>2</sub></b>	0,1	0,08	0,08	0,1	0,01	0,5

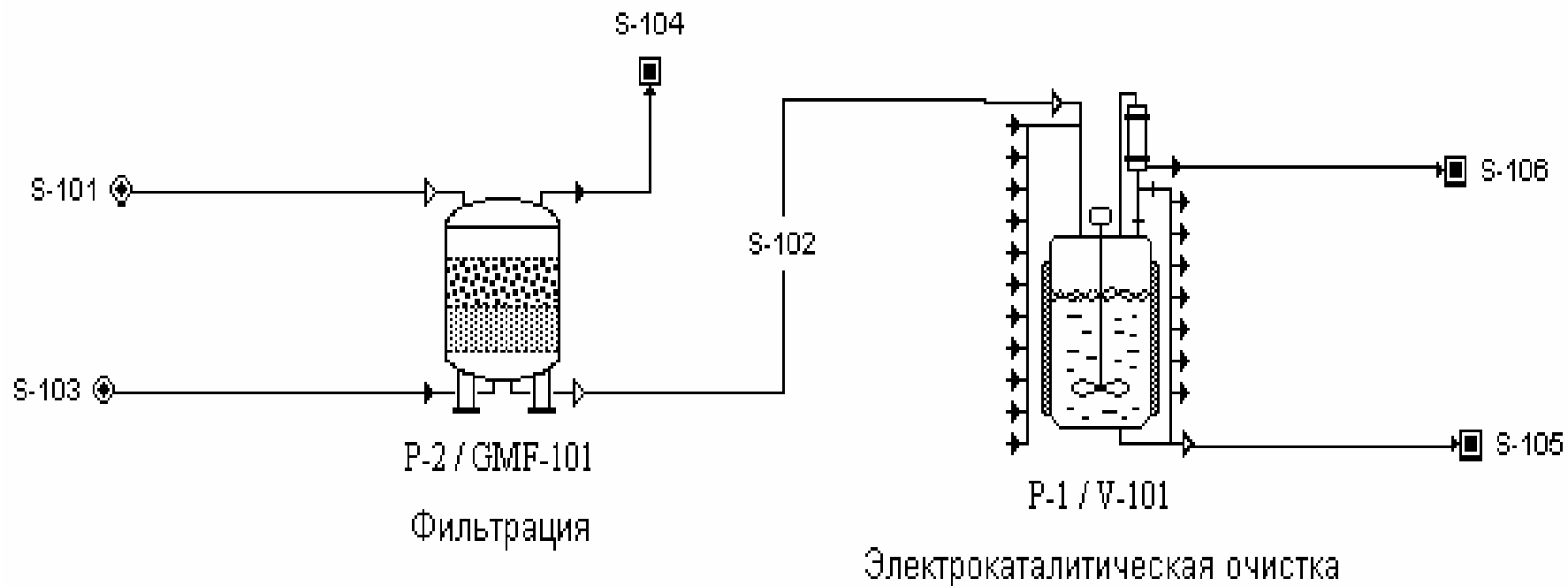


Рис. 65. Схема процесса электродокаталитической очистки сточных вод от органических загрязнителей:

- поток **S-101** – сточная вода на очистку от взвешенных частиц;
- поток **S-102** – сточная вода на очистку от органических загрязнителей;
- поток **S-103** – вода на промывку загрузки фильтра от взвешенных частиц;
- поток **S-104** – вода после промывки фильтра на отделение от взвешенных частиц;
- поток **S-105** – очищенная вода на сброс в водоем, горколлектор или для повторного использования;
- поток **S-106** – вентиляционный выброс из электродокаталитического реактора.

6. Инициализируйте размещенное в окне моделирования программы оборудование в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.9.

7. Введите установленные для вещества лимиты выбросов в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.10.

8. Проведите классификацию потоков моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.11.

9. Выполните расчет материального баланса моделируемого процесса в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.12.

10. Выполните экономические расчеты для моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.13.

11. Постройте диаграммы Ганта для операции и оборудования, диаграммы загрузки оборудования, следящую диаграмму потребления ресурса.

12. Сгенерируйте отчеты:

- расчет потоков и материального баланса;
- экономический расчет;
- расчет анализа прибылей и убытков;
- расчет воздействия на окружающую среду;
- расчет выбросов;
- расчет моделируемого оборудования.

13. Проанализируйте результаты моделирования на основании построенных диаграмм и полученных отчетов.

14. Рекомендуйте оптимальные режимы процесса электрохимической очистки сточных вод от органических загрязнителей.

15. Сделайте выводы по результатам моделирования, оформите и сдайте отчет.

## **4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД»**

### **4.1. Цель работы**

1. Изучение теоретических основ и возможностей технологии биологической очистки сточных вод систем канализации населённых пунктов.
2. Оценка эффективности технических решений на соответствие требованиям, предъявляемым к сточным водам при их сбросе в водоём или системы канализации населённых пунктов.
3. Выбор оптимальных режимов технологии очистки стоков кислородом воздуха (температура, расход воздуха, сточной воды и т.д.).

### **4.2. Основные положения**

Требования к качеству сточных вод, сбрасываемых в системы канализации населённых пунктов [1] или в водоёмы [2], включают в числе других нормативы по допустимой температуре [1,2] и содержанию растворённого кислорода [2] для сбрасываемой воды.

Так в соответствии с требованиями [1] запрещается сбрасывать в канализационную сеть населённого пункта производственные сточные воды, имеющие температуру свыше  $40^{\circ}\text{C}$ . Это объясняется возможным отрицательным воздействием нагретых стоков на канализационные сети (материал труб, их стыков, напорной арматуры и т.д.), увеличением нежелательного газораздувания из сточной воды, нарушением режимов работы станции биологической очистки, а также нарушением теплового баланса водоёма (его теплового загрязнения), который в конечном итоге является приёмником данных сточных вод.

Общие требования к составу и свойствам воды водотоков и водоёмов в местах хозяйственно-питьевого, коммунально-бытового и рыбохозяйственного водопользования содержатся в нормативной документации [2].



Таким образом, единым требованием к качеству сточной воды, сбрасываемой как в системы канализации, так и непосредственно в водоёмы, является её охлаждение. Для охлаждения воды могут применяться градирни, брызгальные бассейны и теплообменное оборудование различных конструкций. Последний вариант охлаждения должен предусматривать утилизацию тепла нагретых стоков. В любом случае должен рассматриваться вопрос о возможном повторном или последовательном использовании охлаждённой сточной воды в производстве. И только при отсутствии условий реализации такого варианта может быть разрешён сброс стоков.

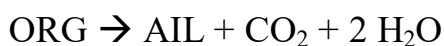
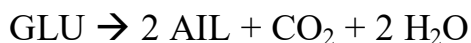
Перед спуском очищенных сточных вод в водоём при необходимости производят дополнительное насыщение этих вод кислородом. При достаточном перепаде по высоте уровней площадки очистных сооружений и уровня воды в водоёме устраивают многоступенчатые водосливы - аэраторы. В остальных случаях приходится использовать специальные барботажные сооружения для насыщения сточной воды кислородом. Максимально-возможное при данной температуре количество кислорода, содержащегося в воде, определяется растворимостью данного газа.

Канал, по которому отводят очищенные сточные воды в водоём, обычно заканчивается береговым колодцем, из которого стоки через специальное устройство - выпуск сбрасываются и смешиваются с водой водоёма.

#### **4.3. Задание на моделирование процесса биологической очистки сточных вод**

Моделируемый технологический процесс представлен на рис. 66. Варианты заданий приведены в табл. 4. Сточная вода содержит активный ил ( $C_{10}H_{18}O_5N_2$ ), мертвый активный ил ( $C_6H_{12}O_5$ ), органическое вещество **F**, глюкозу и тяжелые металлы концентрацией **AIL**, **ORG**, **GLU** и **MET** (г/л) соответственно. Сточная вода непрерывно подается (поток **S-101**) в сооружение биологической очистки (**AB-101**), где происходит биологическое

окисление в соответствии с реакциями, приведенными ниже. Расход сточной воды **M** кг/ч. При биологическом окислении протекают реакции:



Коэффициенты неконсервативности для реакций биологического окисления: **K<sub>1</sub>**, **K<sub>2</sub>**, **K<sub>3</sub>**.

Для аэрации в сооружение биологической очистки подается воздух (поток **S-104**) с удельным расходом **S** м<sup>3</sup>(воздуха)/м<sup>3</sup>(жидкости). Степень адсорбции тяжелых металлов на поверхности активного ила **X** %. С поверхности аэротенка выделяются вещества (поток **AB1-Emissions**). Лимит выброса (ПДВ) выделяющихся из аэротенка веществ составляет **Z1** кг/ч.

Сточная вода после биологической очистки направляется (поток **S-102**) на отстаивание во вторичный отстойник (**CL-101**). Степень очистки от активного ила и мертвого активного ила в отстойнике составляет **R** %. Очищенная сточная вода из вторичного отстойника поступает в водоем, горколлектор или направляется для повторного использования (поток **S-105**). Отстоявшийся осадок гидроэлеватором удаляют из отстойника и направляют на иловые поля (поток **S-103**). При осуществлении процесса отстаивания в отстойнике **CL-101** выделяются газы, которые удаляются с вентиляционным выбросом (поток **Clrf-Emissions**). Лимит выброса (ПДВ) выделяющего из отстойника вещества составляет **Z2** кг/ч.

#### 4.4. Порядок выполнения задания

1. Изучите теоретические основы биологической очистки сточных вод и технологическую схему моделируемого процесса в соответствии с заданием.
2. Запустите программу SuperPro Designer, создайте новый проект и определите тип моделируемого процесса (периодический или непрерывный) в соответствии с разделом 1.1.

Таблица 4

## Варианты заданий для моделирования электрокаталитического окисления

Параметр	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	
Концентрация активного ила <b>АИЛ</b> , г/л	2,5	1,0	3,0	1,5	4,0	3,5	
Концентрация органического загрязнителя <b>ОРГ</b> , г/л	0,5	1,2	0,2	0,4	0,7	0,9	
Концентрация глюкозы <b>GLU</b> , г/л	2,8	1,5	3,4	1,8	4,3	3,9	
Концентрация тяжелого металла <b>МЕТ</b> , г/л	0,001	0,002	0,0008	0,0015	0,0023	0,0005	
Расход сточной воды <b>М</b> , кг/час	280000	100000	150000	200000	250000	180000	
Органическое вещество <b>F</b>	Бензол	Толуол	Ацетон	Бутанол	Фенол	Формальдегид	
Степень адсорбции ТМ на активном иле <b>X</b> , %	90	95	80	50	60	72	
Тип аэротенка ( <b>АВ-101</b> )	Смеситель	Вытеснитель	Смеситель	Вытеснитель	Смеситель	Вытеснитель	
Удельный расход воздуха на аэрацию <b>S</b> , м <sup>3</sup> (воздуха) / м <sup>3</sup> (жидкости)	0,03	0,05	0,01	0,02	0,04	0,08	
Тип аэрации	Поверхностная	Поверхностная	Барботажная	Барботажная	Поверхностная	Барботажная	
Степень очистки в отстойнике <b>R</b> , %	99	85	90	95	88	70	
Лимит выброса веществ <b>Z1</b> , кг/ч	500	100	300	400	155	200	
Лимит выброса веществ <b>Z2</b> , кг/ч	50	20	35	60	70	25	
коэффициенты неконсервативности, ч <sup>-1</sup>	<b>K<sub>1</sub></b>	0,1	0,05	0,2	0,08	0,15	0,09
	<b>K<sub>2</sub></b>	0,02	0,04	0,01	0,03	0,05	0,025
	<b>K<sub>3</sub></b>	0,002	0,003	0,001	0,0015	0,0025	0,0035

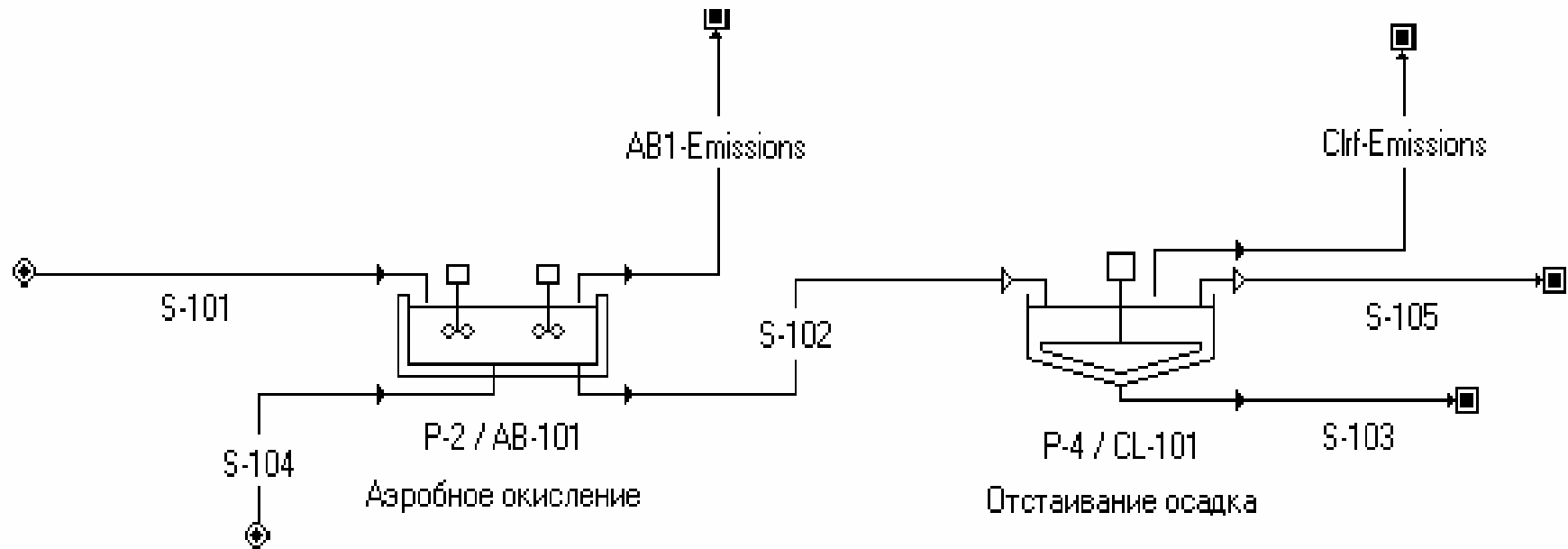


Рис. 66. Схема процесса биологической очистки сточных вод:

- поток **S-101** – сточная вода на биологическую очистку в аэротенк;
- поток **S-102** – сточная вода во вторичный отстойник для отделения от взвешенных частиц ила;
- поток **S-103** – отстаившийся осадок на иловые поля или на рециркуляцию;
- поток **S-104** – воздух для аэрации воды в аэротенке;
- поток **S-105** – очищенная вода на сброс в водоем, горколлектор или для повторного использования;
- поток **AB1-Emissions** – вентиляционный выброс из аэротенка;
- поток **Clrf-Emissions** – вентиляционный выброс из вторичного отстойника

3. Зарегистрируйте компоненты и готовые смеси, которые будут участвовать при моделировании биологической очистки сточных вод, в программе SuperPro Designer в соответствии с разделами 1.2-1.5.

4. Расположите оборудование в поле окна моделирования программы SuperPro Designer и соедините его технологическими потоками в соответствии с рекомендациями разделов 1.6-1.7. После того как оборудование соединено технологическими потоками, обязательно сохраните ваш проект, воспользовавшись меню **File\Save as...** под оригинальным именем.

5. Инициализируйте технологические потоки, которые будут подаваться через штуцеры в оборудование, указав в соответствии с рекомендациями раздела 1.8 температуру потока, массовый расход и т.д..

6. Инициализируйте размещенное в окне моделирования программы оборудование в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.9.

7. Введите установленные для вещества лимиты выбросов в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.10.

8. Проведите классификацию потоков моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.11.

9. Выполните расчет материального баланса моделируемого процесса в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.12.

10. Выполните экономические расчеты для моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.13.

11. Постройте диаграммы Ганта для операции и оборудования, диаграммы загрузки оборудования, следящую диаграмму потребления ресурса.

12. Сгенерируйте отчеты:

- расчет потоков и материального баланса;
- экономический расчет;
- расчет анализа прибылей и убытков;
- расчет воздействия на окружающую среду;

- расчет выбросов;
- расчет моделируемого оборудования.

13. Проанализируйте результаты моделирования на основании построенных диаграмм и полученных отчетов.

14. Рекомендуйте оптимальные режимы процесса биологической очистки сточных вод.

15. Сделайте выводы по результатам моделирования, оформите и сдайте отчет.

## **5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИОНООБМЕННЫМИ МЕТОДАМИ»**

### **5.1. Цель работы**

1. Ознакомиться с особенностями применения ионного обмена для очистки сточных вод, сущностью метода.
2. Освоить методики выбора ионитов и оценки показателей их работоспособности (поглотительная способность, полные и равновесные статические обменные емкости, динамическая обменная емкость, рабочая обменная емкость, удельная поверхность и т.д.).
3. Ознакомиться с методами регенерации отработанных ионитов и способами утилизации элюатов;

### **5.2. Основные положения**

**Ионообменная сорбция**- процесс обмена между ионами, находящимися в сточной воде и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы - ионита. Метод применяют для глубокой очистки сточных вод от минеральных и органических ионизированных соединений и обессоливания с целью повторного использования очищенной воды.

**Иониты** (катиониты и аниониты), нашедшие в настоящее время широкое применение в технологии водоподготовки и очистки, являются

неорганическими (минеральными) и органическими (высокомолекулярными соединениями) веществами кислого или основного характера. Неорганические ионообменные материалы бывают природные (цеолиты) и синтетические (силикагели). К органическим природным ионитам относят сульфоуголь, а к синтетическим - ионообменные смолы. Искусственные органические иониты получают либо путем поликонденсации исходных мономеров, либо путем их сополимеризации. Иониты выпускают строго фиксированного фракционного состава с размером зерен от 0,5 до 0,7 мм. В процессе эксплуатации ионита происходит их разрушение. Способность ионитов сохранять в процессе эксплуатации неизменным фракционный состав характеризуется двумя показателями: осмотической стабильностью и механической прочностью. **Осмотическую стабильность** выражают в процентах неразрушенных зерен, находящихся в пробе ионита после ее многократной (150 раз) обработки попеременно растворами кислоты и щелочи с промежуточной отмывкой обессоленной водой. **Механическую прочность** характеризуют процентом неразрушенных зерен от общего их количества, обработанного в шаровой мельнице в течение 100 часов. Основной причиной разрушения товарных фракций ионитов являются знакопеременные напряжения, возникающие в зерне ионита при его работе. Так, в процессе извлечения ионов из обрабатываемой воды зерно сжимается, поскольку степень набухания ионита, находящегося в любой солевой ионной форме, меньше, чем в водородной или гидроксильной формах. Сообразно с этим при регенерации зерна ионита расширяются. И набухание, и сжатие происходит под действием осмотического давления воды, которое может исчисляться иногда десятками миллионов паскалей. Химические связи в молекуле ионита не выдерживают подобных высоких давлений и по истечении определенного времени могут разорваться, что приводит к разрушению ионита.

Ионообменная способность ионитов обусловлена наличием у них функциональных групп. У катионитов эти группы носят кислотный характер,

у анионитов - основной. По сродству функциональных групп к иону водорода или гидроксила катиониты и аниониты делятся на сильные и слабые. Степень ионизации ионита учитывается при их маркировке. **Сильнокислотные катиониты**, способные диссоциировать в широком интервале рН, называются **универсальными** и маркируются КУ, а **слабоионизированные** катиониты носят название **буферных** и маркируются КБ. Аниониты, обладающие высокой степенью ионизации, называются **высокоосновными** и маркируются АВ, а **слабоионизированные** аниониты называются **низкоосновными** и маркируются АН.

Способность ионитов к ионному обмену характеризуется **обменной емкостью**, то есть количеством функциональных групп, принимающих участие в обмене, который выражается в эквивалентных единицах и относится к единице количества ионита. По ГОСТ 20255.1-74 **полную статическую обменную емкость** (ПСОЕ) определяют выдерживанием точно отмеренного количества ионита в 0,1 н. растворе соляной кислоты (для анионитов) или едкого натра (для катионитов). Сильноосновные и сильнокислотные иониты выдерживают 2 часа, слабоосновные 24 часа. Выдерживанием анионитов в 0,1 н. растворе NaCl и катионитов в 0,1 н. растворе CaCl<sub>2</sub> определяют **равновесную статическую обменную емкость** (РСОЕ). РСОЕ и ПСОЕ выражают в мэкв/г (экв/т). **Динамическую обменную емкость ионитов** (ДОЕ) до проскока улавливаемого иона в фильтрате при полной или частичной их регенерации определяют по результатам опытов пропускания растворов кислот (низкоосновные аниониты), хлоридов кальция (катиониты) или натрия (высокоосновные аниониты) через колонку, содержащую определенное количество ионита. ДОЕ выражают в мэкв/л (экв/м<sup>3</sup>).

При проведении ионообменной очистки солей в сточных водах должно быть не более 3 г/л, взвешенных веществ не более 8 мг/л, ХПК сточной воды должно составлять не более 8 мг/л. Процесс ионообменной очистки сточной



воды складывается из последовательно выполняемых операций: фильтрация, взрыхление фильтрующего слоя, регенерация, отмывка.

Необходимый объем катионита или анионита ( $m^3$ ) для проведения процесса очистки сточной воды с заданным расходом в течение 24 часов может быть рассчитан по формуле:

$$W_{кат,ан} = \frac{24 \cdot q_w \cdot (\sum C_{исх} - \sum C_{кон})}{n \cdot E_{PCOE}}, \quad (5.1)$$

где  $q_w$ - объемный расход сточных вод,  $m^3/ч$ ;  $\sum C_{исх}$ - суммарная концентрация ионов (катионов или анионов) в сточной воде,  $гэкв/м^3$ ;  $\sum C_{кон}$  - суммарная концентрация ионов (анионов или катионов) в очищенной воде,  $гэкв/м^3$ ;  $n$  - число регенераций фильтров, не более 2 раз в сутки;  $E_{PCOE}$  - рабочая статическая обменная емкость катионита или анионита,  $гэкв/м^3$ :

$$E_{PCOE} = a \cdot E_{ПСOE} - K \cdot q_k \cdot \sum C_{отм}, \quad (5.2)$$

где  $a$ - коэффициент эффективности регенерации, для катионитов 0,8-0,9, а для анионитов 0,9;  $E_{ПСOE}$ - полная статическая обменная емкость катионита или анионита,  $гэкв/м^3$ ;  $q_k$ - удельный расход воды  $м^3/м^3$  ионита, принимается равным 3-4;  $K$ - коэффициент, учитывающий тип ионита, для катионита принимается 0,5, а для анионита - 0,8;  $\sum C_{отм}$ - суммарная концентрация ионов (анионов или катионов) в отмывочной воде,  $гэкв/м^3$ .

На основе полученного объема ионитного фильтра  $W_{кат,ан}$  ( $m^3$ ) или расхода обезвреживаемых сточных вод  $q_w$  ( $m^3/ч$ ) рассчитывают площадь ионитных фильтров ( $m^2$ ):

$$F = W_{кат,ан}/H \text{ или } F = q_w / n, \quad (5.3)$$

где  $H$ - высота ионитного фильтра, принимается по каталогу и составляет 2-3 метра;  $n$ - скорость фильтрования,  $м/ч$  (зависит от солесодержания смотри таблицу 5).

Таблица 5

Солесодержание, $гэкв/м^3$	Менее 5	5-15	15-20	Более 20
Скорость фильтрования, $м/ч$	20	15	10	8

Расход воды  $V_{\text{взр}}$  ( $\text{м}^3/\text{регенерацию}$ ) на взрыхление ионита рассчитывают по уравнению:

$$V_{\text{взр}} = F \cdot i \cdot t_{\text{взр}} \cdot 60 / 1000, \quad (5.4)$$

где  $i$ - интенсивность подачи взрыхляемой воды ( $\text{л}/(\text{м}^2 \text{ с})$ ), принимается равной 3;  $t_{\text{взр}}$ - время взрыхления для сульфогля принимают равным 15 минутам, а для остальных ионитов 3 минуты.

Регенерация катионитов осуществляется 7-10% растворами соляной или серной кислот, а анионитов 4% раствором гидроксида натрия. Расход 100%-го реагента (кг) на регенерацию рассчитывается по формуле:

$$s_{100} = W_{\text{кат,ан}} \cdot b, \quad (5.5)$$

где  $b$ - для катионита составляет  $25 \text{ кг}/\text{м}^3$ , а для анионита-  $50 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Суточный расход 100% реагента ( $\text{кг}/\text{сут}$ ) на регенерацию рассчитывают по уравнению:

$$s_{100}^{\text{сут}} = s_{100} \cdot n, \quad (5.6)$$

Объем воды ( $\text{м}^3/\text{регенерацию}$ ), необходимый для приготовления регенерационного раствора, рассчитывают по формуле:

$$V_{\text{pp}} = s_{100} \cdot 100 / (C_{\text{pp}} \cdot 1000 \cdot \gamma_{\text{pp}}), \quad (5.7)$$

где  $C_{\text{pp}}$ - концентрация регенерационного раствора, %;  $\gamma_{\text{pp}}$ - плотность регенерационного раствора концентрации  $C_{\text{pp}}$ ,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;

Время процесса регенерации рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{pp}} = V_{\text{pp}} \cdot 60 / (F \cdot w_{\text{pp}}), \quad (5.8)$$

где  $w_{\text{pp}}$  - скорость пропускания регенерационного раствора через колонку, принимается  $5 \text{ м}/\text{ч}$ ;

Расход воды ( $\text{м}^3/\text{регенерацию}$ ) на отмывку ионитного фильтра рассчитывают следующим образом:

$$V_{\text{отм}} = W_{\text{кат,ан}} \cdot a, \quad (5.9)$$

где  $a$ - удельный расход воды на отмывку, для катионита  $4\text{-}6 \text{ м}^3/\text{м}^3$  катионита, а для анионита  $10\text{-}20 \text{ м}^3/\text{м}^3$  анионита;

Время отмывки, мин.:

$$t_{\text{отм}} = V_{\text{отм}} \cdot 60 / (F \cdot w_{\text{отм}}), \quad (5.10)$$

где  $w_{отм}$  - скорость отмывки, принимается для катионитов 6-8 м/ч, а для анионитов 8-10 м/ч.

### 5.3. Задание на моделирование процесса ионообменной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов

Моделируемый технологический процесс представлен на рис. 67. Варианты заданий содержатся в табл. 6. Сточная вода содержит органическое вещество **F**, катионы тяжелых металлов **ТМ** концентрацией **ORG**, **MET** (г/л) соответственно. Масса загрузки активированного угля (АУ) в адсорбер **Q** кг. Адсорбционная емкость АУ **E**, мг/г. Сточная вода непрерывно подается (поток **S-109**) в сооружение адсорбционной очистки от органических соединений (**GAC-101**) с расходом **M** кг/ч. В адсорбере осуществляются 2 операции: адсорбция органических загрязнителей из сточной воды (**Load**) и регенерация адсорбента водой (**Wash**). Для регенерации в сооружение адсорбционной очистки подается вода (поток **S-102**) с удельным расходом **S** кг(воды)/м<sup>3</sup>(загрузки). Степень адсорбции органического вещества на активированном угле составляет **X**%. Вода после регенерации адсорбента направляется на разделение (поток **S-103**).

Сточная вода после адсорбционной очистки направляется (поток **S-104**) на ионообменную очистку от тяжелых металлов в ионообменную колонку (**INX-101**). Динамическая обменная емкость катионита **EM** г/л. Степень очистки от ионов тяжелых металлов в ионообменной колонке составляет **R**%. В ионообменной колонке осуществляются операции: ионный обмен (**Load**), взрыхление катионита (**Wash**), регенерация (**Regeneration**), медленная (**Wash**) и быстрая промывка (**Wash**). Очищенная сточная вода из ионообменной колонки поступает в водоем, горколлектор или направляется для повторного использования (поток **S-101**). Для операции взрыхления катионита в ионообменную колонку (**INX-101**) подается вода (поток **S-103**) с удельным расходом **H** м<sup>3</sup>(воды)/м<sup>3</sup>(загрузки)/мин. Вода после взрыхления удаляется через штуцер потоком **S-111**.

Таблица 6

Варианты заданий для моделирования ионообменной очистки сточной воды от ионов тяжелых металлов

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
Концентрация органического вещества <b>ORG</b> , г/л	0,0005	0,0012	0,002	0,004	0,0007	0,0009
Концентрация тяжелого металла <b>MET</b> , г/л	0,01	0,02	0,008	0,015	0,023	0,005
Органическое вещество <b>F</b>	Бензол	Толуол	Ацетон	Бутанол	Фенол	Формаль-дегид
Неорганическое соединение <b>TM</b>	$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Ni}^{2+}$	$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Cd}^{2+}$	$\text{Mn}^{2+}$	$\text{Cr}^{3+}$
Расход сточной воды <b>M</b> , кг/час	520000	400000	650000	350000	250000	450000
Масса угля (АУ) в адсорбере <b>Q</b> , кг	200	500	300	400	150	250
Адсорбционная емкость АУ <b>E</b> , мг/г	500	600	400	300	450	550
Степень адсорбции на АУ <b>X</b> , %	90	95	80	78	85	72
удельный расход воды на регенерацию <b>S</b> , $\text{м}^3(\text{воды}) / \text{м}^3(\text{АУ})$	0,03	0,05	0,01	0,02	0,04	0,08
Динамическая обменная емкость катионита <b>EM</b> , г/л	100	200	250	150	300	170
Степень очистки <b>TM</b> в ионообменной колонке <b>R</b> , %	90	99	95	98	93	94
Удельный расход воды для взрыхления катионита <b>H</b> $\text{м}^3(\text{воды})/\text{м}^3(\text{загрузки})/\text{мин}$	0,13	0,25	0,20	0,10	0,18	0,22
Удельный расход регенерационного раствора <b>J</b> , $\text{м}^3(\text{раствора})/\text{м}^3(\text{загрузки})/\text{мин}$	0,06	0,15	0,10	0,05	0,09	0,12
Концентрация регенерационного раствора <b>P</b> , г/л	50	80	40	60	70	55
Удельный расход воды для медленной промывки катионита <b>K</b> , $\text{м}^3(\text{воды})/\text{м}^3(\text{загрузки})/\text{мин}$	0,06	0,15	0,1	0,05	0,08	0,12
Удельный расход воды для быстрой промывки катионита <b>L</b> , $\text{м}^3(\text{воды})/\text{м}^3(\text{загрузки})/\text{мин}$	0,13	0,30	0,20	0,15	0,18	0,22

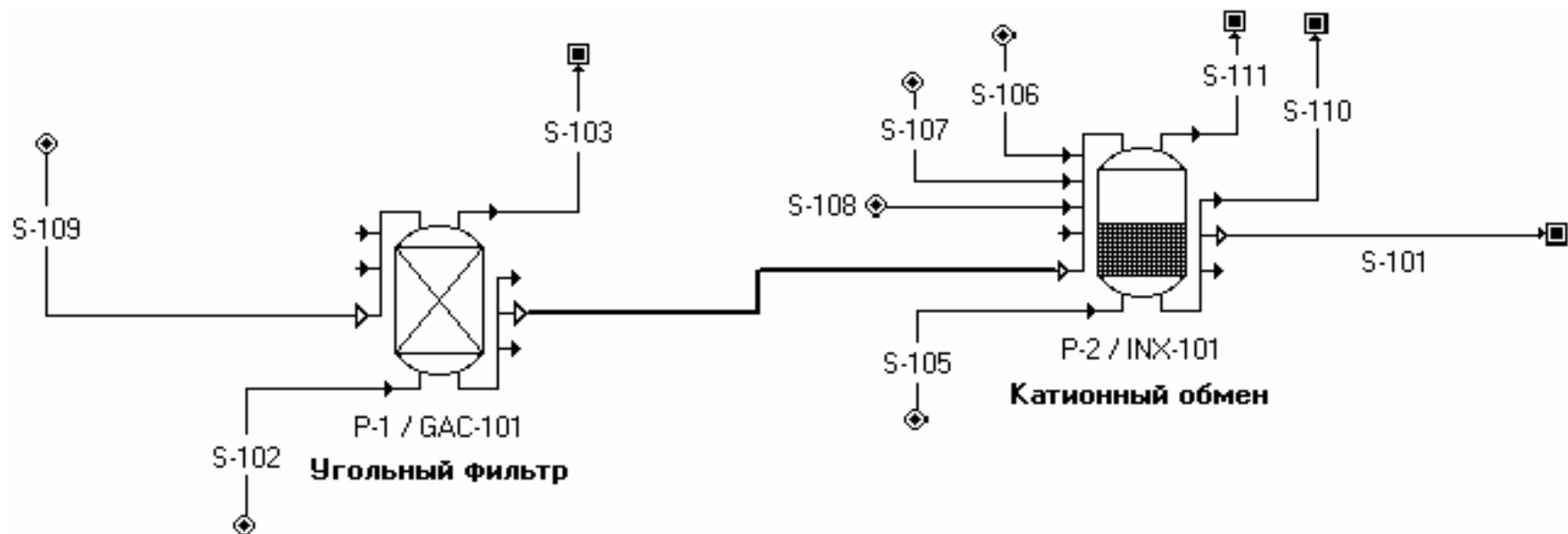


Рис. 67. Схема процесса ионообменной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов:

- поток **S-101** – очищенная сточная вода на сброс в водоем, горколлектор или для повторного использования;
- поток **S-102** – вода для регенерации активированного угля адсорбента;
- поток **S-103** – вода после регенерации адсорбента на разделение;
- поток **S-104** – вода на очистку в ионообменную колонку;
- поток **S-105** – вода для взрыхления катионита ионообменника;
- поток **S-106** – раствор на регенерацию катионита;
- поток **S-107** – вода на медленную промывку;
- поток **S-108** – вода на быструю промывку;
- поток **S-109** – вода на адсорбционную очистку от органических загрязнителей;
- поток **S-110** – элюат после регенерации катионита;
- поток **S-111** – вода после взрыхления катионита

Для операции регенерации катионита в ионообменную колонку (INX-101) подается регенерационный раствор соляной кислоты (поток S-106) расходом  $J$  кг/час и концентрацией  $P$  г/л. Элюат после регенерации катионита удаляется через штуцер потоком S-110. Для операции медленной и быстрой промывки в ионообменную колонку (INX-101) подается вода (поток S-107 и поток S-108) с удельным расходом  $K$  м<sup>3</sup>(воды)/м<sup>3</sup>(загрузки)/мин и  $L$  м<sup>3</sup>(воды)/м<sup>3</sup>(загрузки)/мин. Вода после медленной и быстрой промывки катионита удаляется через штуцер потоком S-101.

#### 5.4. Порядок выполнения задания

1. Изучите теоретические основы ионообменной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов и технологическую схему моделируемого процесса в соответствии с заданием.

2. Запустите программу SuperPro Designer, создайте новый проект и определите тип моделируемого процесса (периодический или непрерывный) в соответствии с разделом 1.1.

3. Зарегистрируйте компоненты и готовые смеси, которые будут участвовать при моделировании ионообменной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, в программе SuperPro Designer в соответствии с разделами 1.2-1.5.

4. Расположите оборудование в поле окна моделирования программы SuperPro Designer и соедините технологическими потоками в соответствии с рекомендациями разделов 1.6-1.7. После того как оборудование соединено технологическими потоками, обязательно сохраните ваш проект, воспользовавшись меню **File\Save as...** под оригинальным именем.

5. Инициализируйте технологические потоки, которые будут подаваться через штуцеры в оборудование, указав в соответствии с рекомендациями раздела 1.8 температуру потока, массовый расход и т.д..

6. Инициализируйте размещенное в окне моделирования программы оборудование в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.9.

7. Введите установленные для вещества лимиты выбросов в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.10.

8. Проведите классификацию потоков моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.11.

9. Выполните расчет материального баланса моделируемого процесса в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.12.

10. Выполните экономические расчеты для моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.13.

11. Постройте диаграммы Ганта для операции и оборудования, диаграммы загрузки оборудования, следящую диаграмму потребления ресурса.

12. Сгенерируйте отчеты:

- расчет потоков и материального баланса;
- экономический расчет;
- расчет анализа прибылей и убытков;
- расчет воздействия на окружающую среду;
- расчет выбросов;
- расчет моделируемого оборудования.

13. Проанализируйте результаты моделирования на основании построенных диаграмм и полученных отчетов.

14. Рекомендуйте оптимальные режимы процесса ионообменной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов.

15. Сделайте выводы по результатам моделирования, оформите и сдайте отчет.

## **6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ»**

### **6.1. Цель работы**

1. Осуществить моделирование процесса каталитического окисления некоторых углеводородов и их смеси с воздухом.

2. Оценить эффективность очистки газовых выбросов на различных катализаторах.
3. Произвести выбор оптимальных условий проведения процесса (расход газа, температура и др.).

## 6.2. Основные положения

**Катализом** называют увеличение(уменьшение) скорости химических реакций или возбуждение их в присутствии **катализаторов**.

**Катализатор**- это химическое соединение (вещество), которое участвует в реакции, вступая в промежуточное химическое взаимодействие с реагентами, но восстанавливает свой состав при окончании химического акта.

Вещества, способные ускорять различные химические процессы, называют собственно **катализаторами**, а вещества, способные замедлять химические реакции- **ингибиторами**.

Наиболее широко применяемыми в настоящее время катализаторами являются металлические катализаторы- платина, серебро, железо, никель и т.д.; оксидные катализаторы, представляющие из себя оксиды железа, ванадия, титана, меди, хрома и т.д.; жидкие катализаторы- фосфорная, серная кислота и т.д..

Катализатор характеризуется в силу своей специфической особенности участия в химическом взаимодействии целым рядом физико-химических параметров: составом, агрегатным состоянием, плотностью, пористостью, величиной удельной поверхности, распределением пор по радиусам, формой гранул, типом кристаллической решетки. Рассматривая состав катализатора, в его структуре различают **активный компонент**, **носитель**, **промоторы**. **Активный компонент** собственно участвует в химической реакции. **Носитель** выполняет роль подложки, на которую наносится активный компонент, а также структурообразующую роль, создавая высокую удельную поверхность и пористость катализатора. Для поддержания высокой



устойчивости работы катализаторов в них добавляют **промоторы**, которые увеличивают срок службы катализаторов. В качестве примера можно взять промышленный ванадиевый катализатор для окисления  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  типа ИК-1-6 состава: 7%  $\text{V}_2\text{O}_5$ , 35%  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$  и 58%  $\text{SiO}_2$ . Здесь в качестве активного компонента служит смесь оксида ванадия и бисульфата калия. При этом роль носителя выполняет рентгеноаморфный диоксид кремния. Другим примером может служить катализатор синтеза аммиака СА-1, где активным компонентом служит металлическое железо, которое содержит промоторы  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$ . Величины **удельной поверхности**, плотности, пористости, распределение пор по радиусам взаимосвязаны между собой и создают в катализаторе необходимую поверхность контакта активного компонента с реагирующими веществами, а также обеспечивают их подвод и отвод от поверхности реакции. Форма гранул катализатора влияет главным образом на сопротивление каталитического слоя при проведении процесса. Крупные гранулы катализатора обеспечивают меньшее сопротивление каталитического реактора, но имеют меньшую поверхность, что влияет на степень превращения вещества в слое. Мелкие гранулы катализатора создают большее сопротивление в реакторе, однако имеют большую поверхность контакта, что влияет на степень превращения продукта в реакторе. В данном случае размер гранул должен быть оптимальным. **Кристаллическая форма**, в частности активного компонента, обуславливает его активность. Так во многих реакциях кристаллическая форма  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  более реакционноспособна, чем кристаллическая форма  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

Каталитические процессы осуществляют при стационарных условиях в реакторах со стационарным(фильтрующим) слоем катализатора, кипящим слоем и в реакторах с фильтрующим слоем при нестационарных условиях ведения процесса.

В общем виде уравнение для расчета каталитического реактора может быть записано в следующем виде:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dl^2} - \frac{dC}{dl} - \frac{L}{U} W(C, T), \quad (6.1)$$

где  $U$ - скорость газовой смеси через слой катализатора, м/с;  $L$  - длина(высота) засыпки слоя катализатора, м.;  $C$  -концентрация компонента в смеси, %;  $D$ - коэффициент диффузии компонента в газовой смеси, м<sup>2</sup>/с;  $l$ - текущая длина(высота) слоя катализатора, м;  $W(x,T)$ - скорость химической реакции.

Если катализ осуществляется в реакторе при нестационарных условиях ведения процесса, то для расчета каталитического реактора необходимо решить уравнение 6.1, задаваясь соответственно степенью превращения, константами скорости, порядком химической реакции и т.д. Для расчета дифференциального уравнения второго порядка (6.1) необходимо использовать вычислительную технику и соответствующий математический аппарат.

Для расчета каталитического реактора кипящего слоя в стационарном режиме уравнение 6.1 упрощается и в общем виде представляет модель реактора идеального вытеснения:

$$\frac{dC}{dl} = D \frac{d^2C}{dl^2} - \frac{L}{U} W(C, T). \quad (6.2)$$

При расчетах реактора, работающего в стационарном режиме, с фильтрующим слоем катализатора модель реактора соответствует реактору идеального вытеснения и уравнение 6.1 в упрощенном виде запишется следующим образом:

$$\frac{dC}{dl} = - \frac{L}{U} W(C, T). \quad (6.3)$$

### 6.3. Задание на моделирование процесса каталитической очистки

Моделируемый технологический процесс представлен на рис. 68. Варианты заданий приведены в табл. 7. Воздух, загрязненный органическими веществами **F**, **G** и **H** концентрацией **ORG1**, **ORG2** и **ORG3** (г/л) соответственно, поступает (поток **S-103**, поток **S-104** и поток **S-105**) от трех технологических линий, где применяются названные вещества с массовым

расходом  $M_1$ ,  $M_2$  и  $M_3$  кг/ч в смеситель (MX-101). После смешения загрязненный воздух (поток S-101) направляется на каталитическую очистку в реактор V-101. Константы скоростей реакций:  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ . Очищенный воздух выбрасывается в атмосферу (поток S-101).

В качестве катализатора используются промышленные катализаторы НТК-4, и АП-56. Лимит выброса по органическим веществам в атмосферный воздух установлен  $V$ , кг/час.

Таблица 7

Варианты заданий для моделирования процесса каталитической очистки

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
Органическое вещество <b>F</b>	Гексан	Метанол	Толуол	Уксусная кислота	Пропанол	Бутан
Органическое вещество <b>G</b>	Бензол	Формальдегид	Бутанол	Этиленгликоль	Диэтиловый эфир	Пентан
Органическое вещество <b>H</b>	Ксилол	Фенол	Ацетон	Этанол	Метан	Октан
Концентрация вещества: <b>F</b> , г/м <sup>3</sup>	1	10	5	2	8	14
<b>G</b> , г/м <sup>3</sup>	4	6	2	5	3	9
<b>H</b> , г/м <sup>3</sup>	2	4	8	5	6	12
Поступление загрязненного воздуха от технологической линии: от 1-й ( <b>M1</b> ), кг/ч	250	520	350	500	300	120
от 2-й ( <b>M2</b> ), кг/ч	128	679	400	500	600	150
от 3-й ( <b>M3</b> ), кг/ч	345	415	450	500	700	140
Константы скорости:						
<b>K<sub>1</sub></b>	0,001	0,07	0,009	0,004	0,006	0,01
<b>K<sub>2</sub></b>	0,004	0,02	0,001	0,01	0,008	0,02
<b>K<sub>3</sub></b>	0,002	0,05	0,008	0,02	0,012	0,03
Лимит выброса <b>V</b> , кг/ч	60	10	30	20	45	25

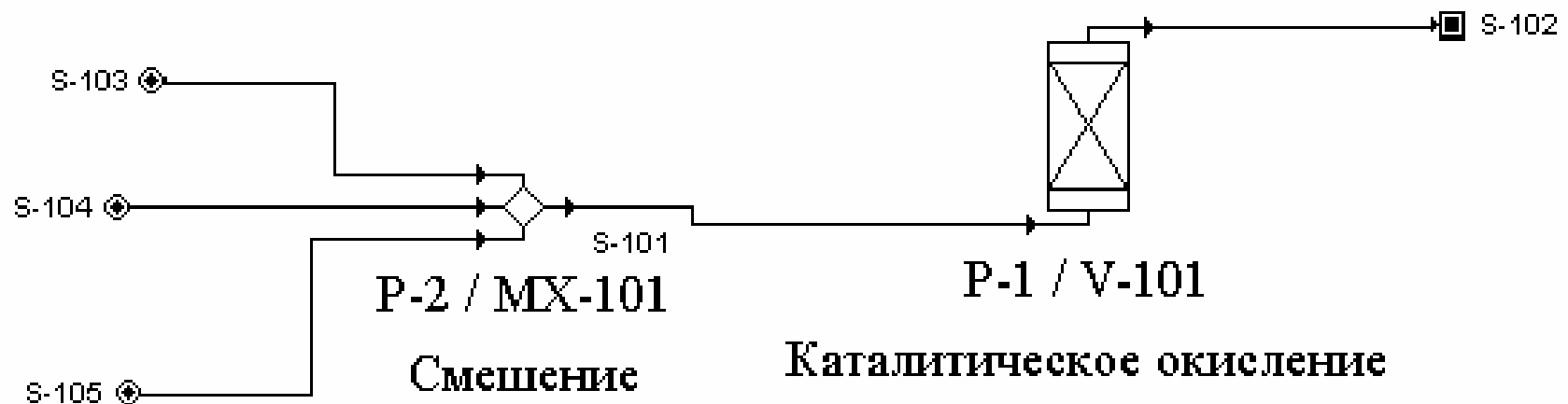


Рис. 68. Схема процесса каталитической очистки газовых выбросов:

- поток **S-101** – смесь газов на очистку;
- поток **S-102** – очищенный воздух;
- поток **S-103** – загрязненный воздух с технологической операции 1;
- поток **S-104** – загрязненный воздух с технологической операции 2;
- поток **S-105** – загрязненный воздух с технологической операции 3

#### 6.4. Порядок выполнения задания

1. Изучите теоретические основы каталитической очистки газовых выбросов от ЛОС и технологическую схему моделируемого процесса в соответствии с заданием.

2. Запустите программу SuperPro Designer, создайте новый проект и определите тип моделируемого процесса (периодический или непрерывный) в соответствии с разделом 1.1.

3. Зарегистрируйте компоненты и готовые смеси, которые будут участвовать при моделировании каталитической очистки газовых выбросов от ЛОС, в программе SuperPro Designer в соответствии с разделами 1.2-1.5.

4. Расположите оборудование в поле окна моделирования программы SuperPro Designer и соедините технологическими потоками в соответствии с рекомендациями разделов 1.6-1.7. После того как оборудование соединено технологическими потоками, обязательно сохраните ваш проект, воспользовавшись меню **File\Save as...** под оригинальным именем.

5. Инициализируйте технологические потоки, которые будут подаваться через штуцеры в оборудование, указав в соответствии с рекомендациями раздела 1.8 температуру потока, массовый расход и т.д..

6. Инициализируйте размещенное в окне моделирования программы оборудование в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.9.

7. Введите установленные для вещества лимиты выбросов в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.10.

8. Проведите классификацию потоков моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.11.

9. Выполните расчет материального баланса моделируемого процесса в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.12.

10. Выполните экономические расчеты для моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.13.

11. Постройте диаграммы Ганта для операции и оборудования, диаграммы загрузки оборудования, следящую диаграмму потребления ресурса.

12. Сгенерируйте отчеты:

- расчет потоков и материального баланса;
- экономический расчет;
- расчет анализа прибылей и убытков;
- расчет воздействия на окружающую среду;
- расчет выбросов;
- расчет моделируемого оборудования.

13. Проанализируйте результаты моделирования на основании построенных диаграмм и полученных отчетов.

14. Рекомендуйте оптимальные режимы процесса каталитической очистки газовых выбросов от ЛОС.

15. Сделайте выводы по результатам моделирования, оформите и сдайте отчет.

## **7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД»**

### **7.1. Цель работы**

1. Изучить способы нейтрализации сточных вод, применяемые в производстве.
2. Освоить методику подбора реагентов для нейтрализации сточных вод и расчета их необходимого количества в случае содержания в них кислот, щелочей, тяжелых металлов.
3. Научиться оценивать количество (массу и объем) осадка, образующегося при нейтрализации сточных вод.
4. Ознакомиться с нормативными требованиями по изменению активной реакции сточных вод при сбросе их в водоемы и систему городской канализации.

## 7.2. Основные положения

Сточные воды, содержащие минеральные кислоты или щелочи, перед сбросом их в водоемы или перед использованием в технологических процессах **нейтрализуют**. Согласно санитарным правилам в водоемах всех видов водопользования в расчетных створах изменение величины рН не должно выходить за пределы 6,5 - 8,5.

Нейтрализацию сточных вод осуществляют различным образом:

а) смешением кислых и щелочных сточных вод, если таковые имеются на одном или соседних предприятиях;

б) добавлением реагентов, в качестве которых могут быть использованы минеральные щелочи калия и натрия, карбонаты натрия, кальция и магния, аммиачная вода и гидроксид кальция (известковое молоко) с содержанием активной извести (СаО) 5-10%;

в) фильтрованием через нейтрализующие материалы;

г) абсорбцией кислых или щелочных дымовых или отходящих газов.

Количество сухого вещества ( $\text{кг/м}^3$ ), образующегося при нейтрализации  $1 \text{ м}^3$  сточных вод, содержащих  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и соли тяжелых металлов:

$$M = (100-A)/A \cdot (A_1 + A_2) + A_3 + (E_1 + E_2 + 2), \quad (7.1)$$

где А- содержание активной СаО, %;  $A_1$ - количество активной СаО необходимой для осаждения металлов,  $\text{кг/м}^3$ ;  $A_2$ - количество активной СаО необходимой для осаждения серной кислоты,  $\text{кг/м}^3$ ;  $E_1$ - количество  $\text{CaSO}_4$  образующейся при осаждении металлов,  $\text{кг/м}^3$ ;  $E_2$  - количество  $\text{CaSO}_4$  образующейся при осаждении серной кислоты,  $\text{кг/м}^3$ .

Объем образующегося осадка при нейтрализации  $1 \text{ м}^3$  сточных вод рассчитывают по формуле:

$$W = 10 \cdot M / (100 - f), \quad (7.2)$$

где f- влажность образующегося осадка, %.

### 7.3. Задание на моделирование процесса нейтрализации сточных вод

Моделируемый технологический процесс представлен на рис. 69. Варианты заданий приведены в табл. 8. В рассматриваемом производстве некоторое сырье обрабатывают избытком кислоты (щелочи). После обработки сырья образуется пульпа готового продукта, которую подают на фильтрацию в рамный фильтр (**PFF-101**) (поток **S-101**) для отделения от фильтрата и последующей промывки. В рамном фильтре (**PFF-101**) осуществляются операции: фильтрование (**Filter**), промывка осадка водой (**Cake-Wash**) и удаление фильтрата (**Transfer-out**). Состав пульпы для фильтрования: неорганическое соединение **F**, кислота (щелочь) **T** концентрацией **NG**, **ET** (г/л) соответственно. Пульпа непрерывно подается (поток **S-101**) в рамный фильтр (**PFF-101**) с удельным расходом **M** л/м<sup>2</sup>/ч. Для операции промывки отфильтрованного осадка подается вода (поток **S-104**) с удельным расходом **S** м<sup>3</sup>(воды)/цикл. Степень фильтрации целевого компонента **F** на фильтре составляет **X1** % и сопутствующей кислоты (щелочи) **X2** %. Пористость отфильтрованного осадка **Q**, д.е.. Степень отмывки на фильтре кислоты (щелочи) **T** от целевого компонента **F** составляет **X3** %. Фильтрат после операции фильтрования направляется на следующую стадию технологического процесса (поток **S-103**) с расходом **W**, кг/ч. Отфильтрованный осадок направляется (поток **S-102**) на операцию сушки и последующей прокалки. Вода после операции отмывки отфильтрованного осадка направляется на операцию нейтрализации (поток **S-105**) в аппарат (**V-101**). Для операции нейтрализации в аппарат (**V-101**) подается реагент (поток **S-106**) с избытком **H** %. Очищенная сточная вода из аппарата (**V-101**) поступает в водоем, горколлектор или направляется для повторного использования (поток **S-107**). С поверхности реактора (**V-101**) потоком **S-108** выделяются в атмосферу вещества, для которых установлен лимит выброса **K** кг/ч.



Таблица 8

Варианты заданий для моделирования процесса нейтрализации сточной воды

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
Удельный расход пульпы <b>M</b> , л/м <sup>2</sup> /час	200	400	150	250	300	220
Неорганическое соединение <b>F</b>	Ca(OH) <sub>2</sub>	Cu(OH) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>	Cr(OH) <sub>3</sub>
Кислота (щелочь) <b>T</b>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KOH	NaOH
Концентрация неорганического соединения <b>NG</b> , г/л	240	200	300	150	180	350
Концентрация кислоты (щелочи) <b>ET</b> , г/л	60	40	80	36	50	100
Степень фильтрации компонента <b>F X1</b> , %	99	95	90	86	80	97
Степень фильтрации сопутствующей кислоты (щелочи) <b>X2</b> , %	60	50	70	75	55	80
Пористость отфильтрованного осадка <b>Q</b> , д.е.	0,5	0,6	0,45	0,55	0,48	0,57
Удельный расход промывной воды <b>S</b> , м <sup>3</sup> (воды)/цикл	5	10	8	7	4	12
Степень отмывки кислоты (щелочи) <b>X3</b> , %.	99	95	60	70	80	85
Удаление фильтрата <b>W</b> , кг/ч	600	700	500	550	650	450
Избыток нейтрализующего реагента <b>H</b> , %	90	100	50	80	110	95
Лимит выброса <b>K</b> , кг/ч	3	2	3	1	2	5

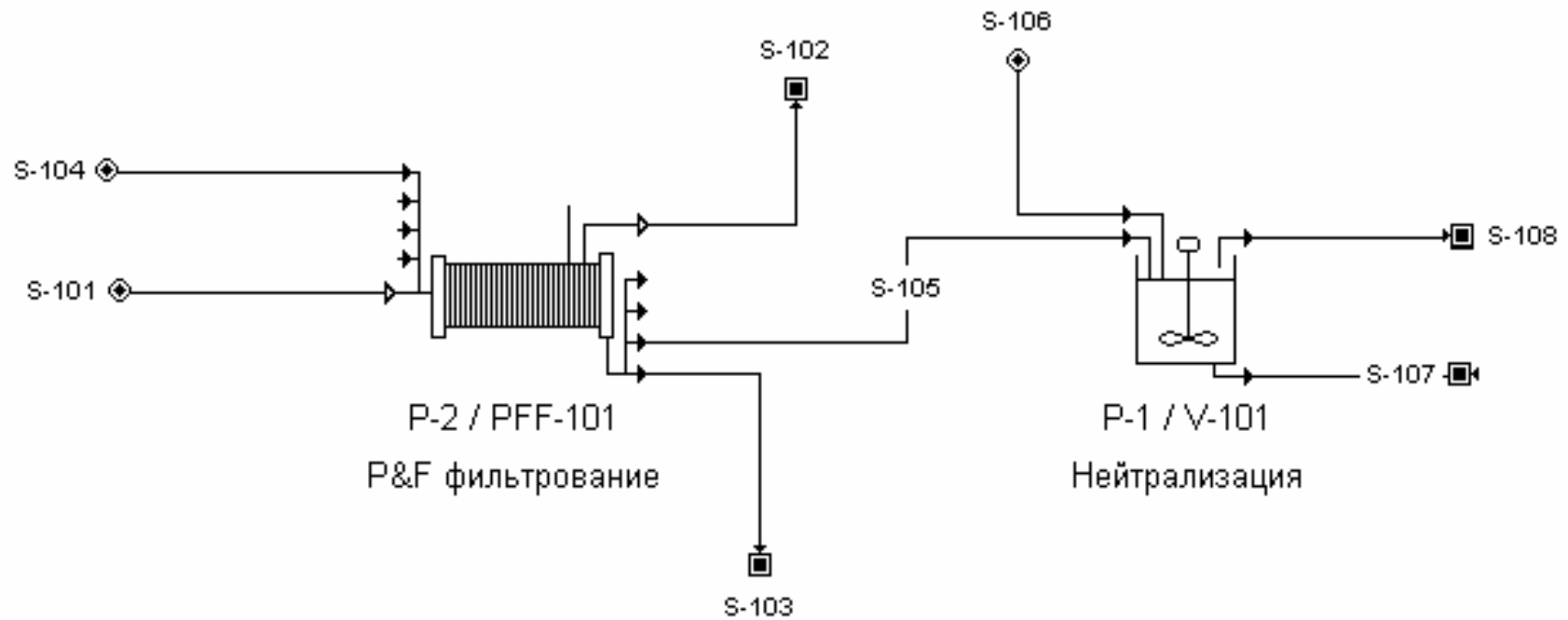


Рис. 69. Схема процесса нейтрализации сточных вод:

- поток **S-101** – пульпа для фильтрования;
- поток **S-102** – отфильтрованный и промытый осадок;
- поток **S-103** – фильтрат на следующую технологическую операцию;
- поток **S-104** – вода на промывку отфильтрованного осадка;
- поток **S-105** – промывная вода на нейтрализацию в реактор-нейтрализатор;
- поток **S-106** – раствор нейтрализующего агента для процесса нейтрализации;
- поток **S-107** – нейтрализованная сточная вода на сброс в горколлектор, водоем или для повторного использования;
- поток **S-108** – вентиляционные выбросы из реактора-нейтрализатора

#### 7.4. Порядок выполнения задания

1. Изучите теоретические основы нейтрализации кислых и щелочных сточных вод и технологическую схему моделируемого процесса в соответствии с заданием.

2. Запустите программу SuperPro Designer, создайте новый проект и определите тип моделируемого процесса (периодический или непрерывный) в соответствии с разделом 1.1.

3. Зарегистрируйте компоненты и готовые смеси, которые будут участвовать при моделировании нейтрализации кислых и щелочных сточных вод, в программе SuperPro Designer в соответствии с разделами 1.2-1.5.

4. Расположите оборудование в поле окна моделирования программы SuperPro Designer и соедините технологическими потоками в соответствии с рекомендациями разделов 1.6-1.7. После того как оборудование соединено технологическими потоками, обязательно сохраните ваш проект, воспользовавшись меню **File\Save as...** под оригинальным именем.

5. Инициализируйте технологические потоки, которые будут подаваться через штуцеры в оборудование, указав в соответствии с рекомендациями раздела 1.8 температуру потока, массовый расход и т.д..

6. Инициализируйте размещенное в окне моделирования программы оборудование в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.9.

7. Введите установленные для вещества лимиты выбросов в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.10.

8. Проведите классификацию потоков моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.11.

9. Выполните расчет материального баланса моделируемого процесса в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.12.

10. Выполните экономические расчеты для моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.13.

11. Постройте диаграммы Ганта для операции и оборудования, диаграммы загрузки оборудования, следящую диаграмму потребления ресурса.

12. Сгенерируйте отчеты:

- расчет потоков и материального баланса;
- экономический расчет;
- расчет анализа прибылей и убытков;
- расчет воздействия на окружающую среду;
- расчет выбросов;
- расчет моделируемого оборудования.

13. Проанализируйте результаты моделирования на основании построенных диаграмм и полученных отчетов.

14. Рекомендуйте оптимальные режимы процесса нейтрализации кислых и щелочных сточных вод.

15. Сделайте выводы по результатам моделирования, оформите и сдайте отчет.

## **8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ»**

### **8.1. Цель работы**

1. Изучение причин загрязнения природных и сточных вод взвешенными веществами, их влияние на качество воды и нормативные требования по взвешенным веществам.

2. Изучение физико-химических основ и закономерности методов очистки воды от взвешенных веществ.

3. Изучение методов очистки воды от взвешенных веществ (отстаивание, коагуляция, фильтрация, осветление и т.п.) и обоснование их выбора.

4. Освоение методик определения эффективности методов очистки воды от взвешенных веществ и расчетов размеров аппаратов для проведения этих процессов.

## 8.2. Основные положения

Промышленные и бытовые сточные воды содержат взвешенные частицы растворимых и нерастворимых веществ. В зависимости от размера частиц дисперсные системы подразделяются:

- грубодисперсные (размер частиц более 0,1 мкм);
- коллоидные с размером частиц от 1 нм до 0,1 мкм;
- истинные растворы с размером частиц соответствующим отдельным молекулам.

Выбор метода очистки сточных вод зависит во многом от размера частиц, имеющих примесей, физико-химических свойств и концентрации взвешенных веществ, расхода сточных вод и необходимой степени очистки.

Согласно санитарным правилам для водоемов общехозяйственного назначения при сбросе сточных вод в расчетных створах увеличение концентрации взвешенных веществ не должно происходить более чем на 7,5 мг/л, а для водоемов рыбохозяйственного назначения- на 2,5 мг/л.

Для удаления из сточных вод взвешенных веществ на начальном этапе применяют механическую очистку. Механическая очистка сточных вод обычно предшествует биологической или физико- химической очистке. В сооружениях для механической очистки сначала отделяются наиболее крупные загрязнения (решетки, сита), затем тяжелые взвеси (песколовки) и на заключительном этапе- основная масса тонкодиспергированных нерастворимых загрязнений (отстойники, осветлители).

Для расчета аппаратов механической очистки (и в частности отстойников) важным расчетным показателем является величина **гидравлической крупности**. Гидравлическая крупность частиц представляет из себя некую фиктивную минимальную скорость осаждения частиц определенного размера.

### 8.3. Задание на моделирование процесса очистки сточных вод от взвешенных веществ

Моделируемый технологический процесс представлен на рис. 70. Варианты заданий приведены в табл. 9. Сточная вода (поток **S-101**) содержит соединение **ТМ** концентрацией **МЕТ**, г/л и подается периодически в реактор с мешалкой (**V-101**) в количестве **М** кг/цикл. Процедуры, выполняемые в периодическом реакторе с мешалкой (**V-101**): наполнение реактора сточной водой для очистки от соединения **ТМ** (**Charge**), подача в реактор реагента **OS** (**Charge**), перемешивание раствора (**Agitate**), проведение реакции осаждения (**Reaction**) и слив очищенной воды (**Transfer-out**). Массовый расход при наполнении реактора сточной водой для очистки и при сливе очищенной сточной воды составляет **W** кг/ч. Продолжительность перемешивания соответствует продолжительности протекания реакции. Для перевода соединения в нерастворимое состояние и последующего осаждения в реактор с мешалкой (**V-106**) подается (поток **S-102**) реагент **OS** концентрацией **S** г/л. Степень осаждения соединения реагентом составляет **X**%. Полученная после осаждения пульпа направляется на отстаивание в отстойник (**CL-101**) (поток **S-103**). Степень отстаивания взвешенных частиц в отстойнике составляет **R** %. Очищенная сточная вода из отстойника (**CL-101**) поступает в водоем, горколлектор или направляется для повторного использования (поток **S-104**). Осадок после отстаивания удаляется через штуцер потоком **S-103**.

### 8.4. Порядок выполнения задания

1. Изучите теоретические основы очистки сточных вод от взвешенных веществ и технологическую схему моделируемого процесса в соответствии с заданием.
2. Запустите программу SuperPro Designer, создайте новый проект и определите тип моделируемого процесса (периодический или непрерывный) в соответствии с разделом 1.1.

Варианты заданий для моделирования процесса очистки сточных вод  
от взвешенных веществ

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
Соединение <b>ТМ</b>	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Cr}_2(\text{NO}_3)_3$	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$
Концентрация тяжелого металла <b>МЕТ</b> , г/л	4	1	10	5	8	9
Реагент <b>OS</b>	NaOH	NaOH	MgO	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	KOH	$\text{Na}_2\text{CO}_3$
Концентрация реагента <b>S</b> , г/л	10	15	5	25	20	18
Расход сточной воды <b>M</b> , кг/цикл	7000	5000	10000	12000	15000	8000
Степень осаждения <b>X</b> , %	85	95	99	88	75	90
Степень отстаивания <b>R</b> , %	95	90	87	70	75	85
Массовый расход при наполнении и сливе <b>W</b> , кг/ч.	500	200	450	300	250	350

3. Зарегистрируйте компоненты и готовые смеси, которые будут участвовать при моделировании очистки сточных вод от взвешенных веществ, в программе SuperPro Designer в соответствии с разделами 1.2-1.5.

4. Расположите оборудование в поле окна моделирования программы SuperPro Designer и соедините технологическими потоками в соответствии с рекомендациями разделов 1.6-1.7. После того как оборудование соединено технологическими потоками, обязательно сохраните ваш проект, воспользовавшись меню **File\Save as...** под оригинальным именем.

5. Инициализируйте технологические потоки, которые будут подаваться через штуцеры в оборудование, указав в соответствии с рекомендациями раздела 1.8 температуру потока, массовый расход и т.д..

6. Инициализируйте размещенное в окне моделирования программы оборудование в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.9.

7. Введите установленные для вещества лимиты выбросов в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.10.

8. Проведите классификацию потоков моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.11.

9. Выполните расчет материального баланса моделируемого процесса в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.12.

10. Выполните экономические расчеты для моделируемого проекта в соответствии с указаниями и рекомендациями раздела 1.13.

11. Постройте диаграммы Ганта для операции и оборудования, диаграммы загрузки оборудования, следящую диаграмму потребления ресурса.

12. Сгенерируйте отчеты:

- расчет потоков и материального баланса;
- экономический расчет;
- расчет анализа прибылей и убытков;
- расчет воздействия на окружающую среду;
- расчет выбросов;
- расчет моделируемого оборудования.

13. Проанализируйте результаты моделирования на основании построенных диаграмм и полученных отчетов.

14. Рекомендуйте оптимальные режимы процесса очистки сточных вод от взвешенных веществ.

15. Сделайте выводы по результатам моделирования, оформите и сдайте отчет.



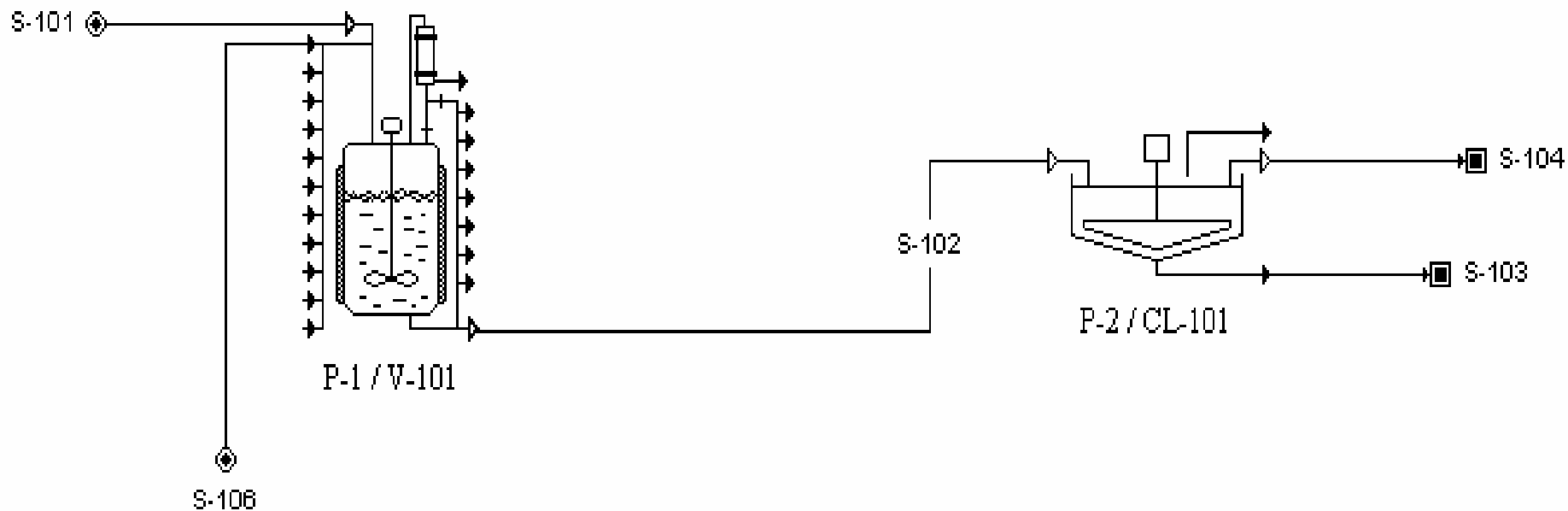


Рис. 70. Схема процесса очистки сточных вод от взвешенных веществ:

- поток **S-101** – сточная вода на осаждение тяжелых металлов;
- поток **S-102** – сточная вода после осаждения тяжелых металлов на стадию отстаивания осадка;
- поток **S-103** – отстоявшийся влажный осадок на переработку;
- поток **S-104** – очищенная сточная вода на сброс в горколлектор, водоем или для повторного использования;
- поток **S-106** – раствор или пульпа реагента на стадию осаждения

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила приёма производственных сточных вод в системе канализации населённых пунктов.- М., 1985.
2. Правила охраны поверхностных вод. М., 1991.
3. Родионов, А.И. Техника защиты окружающей среды/ А.И. Родионов.-- М: Химия, 1989. - 512 с.
4. Громогласов, А.А. Водоподготовка: Процессы и аппараты/ А.А. Громогласов, А.С. Копылов, А.П. Пильщиков; под ред. О.И. Мартыновой.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 272 с.
5. Справочник по очистке природных и сточных вод/ [Л.Л. Пааль и др.] - М.: Высш. шк., 1994.- 336 с.
6. Попова, Н.М. Катализаторы очистки газовых выбросов промышленных производств/ Н.М. Попова.- М: Химия, 1991.- 176 с.
7. Бесков, В.С. Моделирование каталитических процессов и реакторов/ В.С. Бесков, В. Флокк.- М: Химия, 1991.- 256 с.
8. Экология и катализ. Сборник научных трудов. -Новосибирск: Наука, 1990.- 152 с.
9. Очистка производственных сточных вод/ [С.В. Яковлев и др.] - М: Стройиздат, 1985.
10. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1986.
11. Карюхина, Т.А. Химия воды и микробиология / Т.А. Карюхина, И.Н. Чурбанова.- М: Стройиздат, 1974.
12. Контроль качества воды.- М: Стройиздат, 1986.
13. СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1985.

## Приложение 1

### КАТЕГОРИЯ I

Общие взвешенные (**Total Particulate**). Все материалы, которые не могут быть обнаружены методом анализа воздуха NJ 1.

Подкатегории:

A. Биологически активные вещества (**BIOLOGICAL**), которые требуют практики, безопасного обслуживания оборудования и установок, которые имеют уровень биологической безопасности 2 или выше. Издание NNS (NIN 88-8395, 2-ой Выпуск (май 1988)).

B. Радионуклиды, внесенные в список N.J.A.C. 7:28-6.5, которые являются содержащими взвешенные (**RADIONUCLIDE**).

C. Соединения шестивалентного хрома, которые являются взвешенными (**Cr+6**).

D. Соединения любого из следующих металлов, которые являются взвешенными: Pb, Hg, Cd, Be, As, Ni, Cr (total) (**METALS**). ТВЧ, которые содержат асбест (**ASBESTOS**)

F. ДИОКСИНЫ (**DIOXIN**)

Подкатегория диоксина будет включать следующие изомеры хлорируемых дибензо-диоксинов (CDDs) и хлорируемых дибензофуранов (CDFs):

2,3,7,8 - TCDD	2,3,4,7,8 - PeCDF
2,3,7,8 - TCDF	1,2,3,7,8,9 - HxCDD
1,2,3,7,8 - PeCDD	1,2,3,4,7,8 - HxCDF
1,2,3,7,8 - PeCDF	1,2,3,6,7,8 - HxCDD
1,2,3,4,7,8 - HxCDD	1,2,3,7,8,9 - HxCDF
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDD	2,3,4,6,7,8 - HxCDF
1,2,3,6,7,8 - HxCDF	1,2,3,4,6,7,8 - HpCDF
1,2,3,4,7,8,9 - HpCDF	

Источник- американское агентство по охране окружающей среды (EPA) 625/3-87/012, «Промежуточные процедуры для оценки рисков, связанных с

экспозициями к смесям хлорируемых р-диоксинов и дибензофуранов (CDDs и CDFs)».

Г. Материалы, которые являются жидкими органическими соединениями, выделяющиеся как аэрозоли (**particulate LOC**).

Н. Опасные атмосферные примеси (**HAP-PARTICULATE**). Включает следующие химические продукты:

Таблица 10

Name	CAS Number	Name	CAS Number
1	2	3	4
Уксусный альдегид	75070	Ацетонитрил	75058
Ацетамид	60355	Метилфенилкетон	98862
2-Ацетиламинофторид	53963	Акролеин	107028
Акриламид	79061	Акрилонитрил	107131
Акриловая кислота	79107	Аллилхлорид	107051
4-Аминобифенил	92671	Анилин	62533
о-Анизидин	90040	Асбест	1332214
Бензол (включая бензолы бензина)	71432	Бензидин	92875
Трихлорид бензола	98077	Хлористый бензил	100447
Дифенил	92524	Висмута (2-этилгексил) фталат (DEHP)	117817
Висмута (хлорметил) эфир	542881	Бромформ	75252
1,3 бутадиенамин	106990	Цианамид кальция	156627
Капролактам	105602	Каптан	133062
Карбарил	63252	Сероуглерод	75150
Тетрахлорметан	56235	Сернистый карбонил	463581
Катехин	120809	Хлорамбен	133904
Хлордан	57749	Хлоруксусная кислота	79118
2-Хлорацетофенон	532274	Хлорбензилат	510156
Хлорбензол	108907	Хлороформ	67663
Диметиловый эфир хлорметила	107302	Хлорпрен	126998
Крезол/технический крезол (изомеры и смеси)	1319773	О-крезол	95487
М-крезол	108394	Р-крезол	106445
Кумол	98828	DDE	3547044
Диазометан	334883	Дибензофураны	132649

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
1,2-Дибромо-3-хлорпропан	96128	Дибутилфталат	84742
1,4 дихлорбензол (p)	106467	3,3-Дихлорбензидин	91941
Эфир дихлорметила (висмута (2-хлорэтил) эфир)	111444	1,3-Дихлорпропан	542756
Дихлофос	62737	Диэтаноламин	111422
N, анилин N-диэтила (N, N-диметиланилин)	121697	Диэтиловый сульфат	64675
3,3-Диметилоксибензидин	119904	Этан аминоказобензола	60117
3,3' – бензидин этана	119937	Этан карбамилхлорид	79447
Диметилформаимид	68122	Гидразин 1,1 этан	57147
Диметилфталат	131113	Сульфат этана	77781
4,6-Динитро-о-крезол, и соли	534521	2,4-Динитрофенол	51285
2,4 динитротолуол	121142	(1,4-Диэтиленоксид) 1,4 диоксан	123911
1,2-Дифенилгидразин	122667	1,2-Эпоксибутан	106887
Эпихлоргидрин (1-хлоро-2,3-эпоксипропан)	106898	Этилакрилат	140885
Этилбензол	100414	Этиловая соль карбаминовой кислоты (уретановая)	51796
Хлористый этил (Хлорэтан)	75003	Бромистый этилен (Дибромэтан)	106934
Хлористый этилен (1,2 дихлорэтанами)	107062	Этиленгликоль	107211
Этиленимин (Азиридин)	151564	Окись этилена	75218
Тиомочевина этилена	96457	Хлористый этилиден (1,1 дихлорэтанами)	75343
Формальдегид	50000	Гептахлор	76448
Гексахлорбензол	118741	Гексахлорбутадиен	87683
Гексахлорциклопентадиен	77474	Гексахлорэтан	67721
Гексаметилен-1,6-диизоцианат	822060	Гексаметилфосфораимид	680319
Гексан	110543	Гидразин	302012
Соляная кислота	7647010	Фтористоводородная кислота	7664393
Гидрохинон	123319	Изофорон	78591
Гамма-гексахлорциклогексан (все изомеры)	58899	Малеиновый ангидрид	108316
Метанол	67561	Бромистый метил (Бромэтан)	74839
Метилхлорид (Хлорметан)	74873	1,1,1-трихлорэтан	71556
Метиловый этиловый кетон (2-Бутанон)	78933	Метиловый гидразин	60344
Йодистый метил (Йодметан)	74884	Метиловый кетон изобутила	108101

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
Метилловый эфир изоциановой кислоты	624839	Метилловый эфир метакриловой кислоты	80626
Хлористый метилен (Дихлорметан)	75092	Дифенил метилена диизоцианат (MDI)	101688
Нафталин	91203	Нитробензол	98953
4-Нитробифенил	92933	2-Нитропропан	79469
N-Нитрозо-N-метилуреат	684935	N-Нитрозодиметиламин	62759
N-Нитрозоморфолин	59892	O,O-диэтил-O- паранитрофенилтиофосфат	56382
Пентахлорнитробензол	82688	Пентахлорфенол	87865
Фенол	108952	P-фенилендиамин	106503
Фосген	75445	Фосфор	7723140
Фталевый ангидрид	85449	Полихлоридные дифенилы	13336363
Бета-пропиолактон	57578	Пропиональдегид	123386
Пропоксур (Байгон)	114261	Хлористый пропилен (1,2- Дихлорпропан)	78875
Окись пропилена	75569	1,2-Пропиленимин (2- Метилазиридин)	75558
Хинолин	91225	Хинон	106514
Стирол	100425	Окись стирола	96093
2,3,7,8-Тетрахлордибензо-р- диоксин		1,1,2,2-Тетрахлорэтан	
Тетрахлорэтилен		Четыреххлористый титан	
Толуол		2,4 толуиленидиизоцианата	
O-толуидин		Токсафен (продукт хлорирования)	
1,2,4 трихлорбензол		1,1,2 трихлорэтан	
Трихлорэтилен		Триэтиламин	
Трифлуралин		Уксусный эфир винилового спирта	
Бромистый винил		Хлористый винил	
1,1-дихлорэтилен (С 1,1 дихлорэтиленами)		Ксилол (изомеры и смесь)	
о-ксилол		м-ксилол	
р-ксилол		Мышьяковые соединения (неорганические)	
Соединения сурьмы		Соединения бериллия	
Соединения кадмия		Соединения хрома	
Соединения кобальта		Цианистые соединения	
Гликолевые эфиры		Соединения свинца	

1	2	3	4
Соединения марганца		Соединения ртути	
Соединения никеля		Полициклическое органические соединения	
Соединения селена			

Для всех веществ, приведенных выше, которые содержат слово «Соединения», и для гликолевых эфиров, применяется следующее: если иначе не определено, эти вещества определяются как любое уникальное химическое вещество, содержащее химический элемент в названии (то есть сурьма, мышьяк, и т.д.).

I) ТВЧ, которые не включены в списки А-Н (**OTHER PARTICULATE**).

## КАТЕГОРИЯ II

Общие VOC (**Total VOC**) (общие летучие органические соединения) Все материалы, которые не могли быть обнаружены методом испытания воздуха NJ 3 (6. CO<sub>2</sub> не относится к VOC).

Подкатегория:

A. Мономер хлористого винила (**VCM**)

B. Материалы, которые являются токсичными летучими органическими веществами, внесенными в список в NJAC 7:27-17 таблицы 1 (**TVOS**).

C. Материалы, которые являются свободными летучими органическими веществами, внесенными в список в NJAC 7:27-16.1 (**EVOS**). Включает следующие вещества: метан, трихлорфторметан, 1,1,2-трихлор-1,2,2,-трифторэтан, дихлордифторметан, 1,2,-дихлор-1,1,2,2 тетрафторэтан, хлордифторметан, хлорпентафторэтан, трифторметан

D. Опасные атмосферные загрязнители, кроме HAP-VOC (VCM).

Включает следующие вещества:

Таблица 11

Name	CAS Number	Name	CAS Number
1	2	3	4
Уксусный альдегид	75070	Карбарил	63252
Ацетамид	60355	Сероуглерод	75150
Ацетонитрил	75058	Тетрахлорметан	56235
Метилфенилкетон	98862	Сернистый карбонил	463581
2-Ацетиламинофторид	53963	Катехин	120809
Акролеин	107028	Хлорамбен	133904
Акриламид	79061	Хлордан	57749
Акриловая кислота	79107	Хлоруксусная кислота	79118
Акрилонитрил	107131	2-Хлоацетофенон	532274
Аллилхлорид	107051	Хлорбензол	108907
4-Аминобифенил	92671	Хлорбензилат	510156
Анилин	62533	Хлороформ	67663
о-Анизидин	90040	Диметилловый эфир хлорметила	107302
Асбест	1332214	Хлоропрен	126998
Бензол (включая бензолы бензина)	71432	Крезол/технический крезол (изомеры и смеси)	1319773
Бензидин	92875	О-крезол	95487
Трихлорид бензола	98077	М-крезол	108394
Хлористый бензил	100447	Р-крезол	106445
Дифенил	92524	Кумол	98828
Висмута (2-этилгексил) фталат (ДЕНР)	117817	2,4-D, соли и сложные эфиры	94757
Висмута (хлорметил) эфир	542881	DDE	3547044
Бромформ	75252	Диазометан	334883
1,3 бутадиенами	106990	Дибензофураны	132649
Цианамид кальция	156627	1,2-Дибромо-3-хлорпропан	96128
Капролактам	105602	Дибутилфталат	84742
Каптан	133062	1,2-Эпоксибутан	106887
1,4 дихлорбензол (p)	106467	Этилакрилат	140885
3,3-Дихлорбенизидин	91941	Этилбензол	100414
Эфир дихлорметила (висмута (2-хлорэтил) эфир)	111444	Этиловая соль карбаминовой кислоты (уретановая)	51796
1,3-Дихлорпропан	542756	Хлористый этил (Хлорэтан)	75003



Продолжение таблицы 11

1	2	3	4
Дихлофос	62737	Бромистый этилен (Дибромэтан)	106934
Диэтаноламин	111422	Хлористый этилен (1,2 дихлорэтанами)	107062
N, анилин N-диэтила (N, N-диметиланилин)	121697	Этиленгликоль	107211
Диэтиловый сульфат	64675	Этиленимин (Азиридин)	151564
3,3-Диметилоксибензидин	119904	Окись этилена	75218
Этан аминоазобензола	60117	Тиомочевина этилена	96457
3,3' - бензидин этана	119937	Хлористый этилиден (1,1 дихлорэтанами)	75343
Этан карбамилхлорид	79447	Формальдегид	50000
Диметилформаид	68122	Гептахлор	76448
Гидразин 1,1 этан	57147	Гексахлорбензол	118741
Диметилфталат	131113	Гексахлорбутадиен	87683
Сульфат этана	77781	Гексахлорциклопентадиен	77474
4,6-Динитро-о-крезол, и соли	534521	Гексахлорэтан	67721
2,4-Динитрофенол	51285	Гексаметилен-1,6- диизоцианат	822060
2,4 динитротолуол	121142	Гексаметилфосфораид	680319
(1,4-Диэтиленоксид) 1,4 диоксан	123911	Гексан	110543
1,2-Дифенилгидразин	122667	Гидразин	302012
Эпихлоргидрин (1-хлоро- 2,3-эпоксипропан)	106898	Соляная кислота	7647010
Фтористоводородная кислота	7664393	N-Нитрозо-N-метилуреат	684935
Гидрохинон	123319	N-Нитрозодиметиламин	62759
Изофорон	78591	N-Нитрозоморфолин	59892
Гамма- гексахлорциклогексан (все изомеры)	58899	O,O-диэтил-O- паранитрофенилтиофосфат	56382
Малеиновый ангидрид	108316	Пентахлорнитробензол	82688
Метанол	67561	Пентахлорфенол	87865
Бромистый метил (Бромэтан)	74839	Фенол	108952
Метилхлорид (Хлорметан)	74873	P-фенилендиамин	106503
1,1,1-трихлорэтан	71556	Фосген	75445

1	2	3	4
Метилловый этиловый кетон (2-Бутанон)	78933	Фосфор	7723140
Метилловый гидразин	60344	Фталевый ангидрид	85449
Йодистый метил (Йодметан)	74884	Полихлоридные дифенилы	13336363
Метилловый кетон изобутила	108101	Бета-пропиолактон	57578
Метилловый эфир изоциановой кислоты	624839	Пропиональдегид	123386
Метилловый эфир метакриловой кислоты	80626	Пропоксур (Байгон)	114261
Хлористый метилен (Дихлорметан)	75092	Хлористый пропилен (1,2-Дихлорпропан)	78875
Дифенил метилена диизоцианат (MDI)	101688	Окись пропилена	75569
Нафталин	91203	1,2-Пропиленимин (2-Метилазиридин)	75558
Нитробензол	98953	Хинолин	91225
4-Нитробифенил	92933	Хинон	106514
2-Нитропропан	79469	Стирол	100425
2,3,7,8-Тетрахлордобензо-р-диоксин		Окись стирола	96093
Тетрахлорэтилен		1,1,2,2-Тетрахлорэтан	
Четыреххлористый титан		Толуол	
2,4 толуиленидиизоцианата		О-толуидин	
Токсафен (продукт хлорирования)		1,2,4 трихлорбензол	
1,1,2 трихлорэтан		Трихлорэтилен	
Триэтиламин		Трифлуралин	
Уксусный эфир винилового спирта		2,2,4-Trimethylpentane	
Бромистый винил		Хлористый винил	
1,1-дихлорэтилен (С 1,1 дихлорэтиленами)		Ксилол (изомеры и смесь)	
о-ксилол		м-ксилол	
р-ксилол		Полициклическое органические соединения	

Е. Летучие органические соединения, которые не включены в списки А-Д (OTHER VOC).

### КАТЕГОРИЯ III

Кислые газы, которые не могут быть обнаружены как взвешенные, используя метод испытания воздуха NJ 1 или как VOC с использованием метода 3.

Подкатегории:

А. Опасные атмосферные загрязнители (**HAZ-ACID**)

Включает следующие химические продукты:

Name	CAS Number	Name	CAS Number
Хлор	7782505	Хлористый водород	7647010
Фтористый водород	7664393		

В. Кислые газы, которые не включены в список А. Включает, но не ограничивается  $F_2$ ,  $SO_3$  и  $H_2S$  (ACID).

### КАТЕГОРИЯ IV

Необычно токсичные газы (**ETG**)

Подкатегория:

А. Опасные атмосферные загрязнители (**HAZ-GAS**).

Включает следующие химические продукты:

Name	CAS Number	Name	CAS Number
Фосфористый водород ( $PH_3$ )	7803-51-2	Соль арсиновой кислоты ( $AsH_3$ )	7784-42-1

В. Газы (**GAS**) внесены в список следующих химических продуктов:

Таблица 12

Name	CAS Number	Name	CAS Number
1	2	3	4
Хлорид бора ( $BCl_3$ )	10294-34-5	Трехфтористый бор ( $BF_3$ )	7637-07-2
Хлористый бром ( $BrCl$ )	13863-41-7	Двуокись хлора ( $ClO_2$ )	10049-04-4
Пентафторид хлора ( $ClF_5$ )	13637-63-3	Трифторид хлора ( $ClF_3$ )	7790-91-2
Диборан ( $B_2H_6$ )	19287-45-7	Дихлорсилан ( $H_2Cl_2Si$ )	4109-96-0
Селенистый водород ( $H_2Se$ )	7783-07-5	Трифторид азота ( $NF_3$ )	7783-41-7

1	2	3	4
Двуфтористый кислород (OF <sub>2</sub> )	7783-41-7	Озон (O <sub>3</sub> )	10028-15-6
Фторид хлорноватой кислоты (ClFO <sub>3</sub> )	7616-94-6	Трифторид фосфора (PF <sub>3</sub> )	7783-55-3
Шестифтористый селен (SeF <sub>6</sub> )	7783-79-1	Сурьмянистый водород (SbH <sub>3</sub> )	7803-52-3
Четырехфтористая сера (SF <sub>4</sub> )	7783-60-0	Оксифторид серы (SF <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	2699-79-8
Шестифтористый теллур (TeF <sub>6</sub> )	7783-80-4	Тетрафторгидразин (N <sub>2</sub> F <sub>4</sub> )	10036-47-2

### Категория V

Монооксид углерода (CO)

Подкатегория

монооксид углерода CO

### КАТЕГОРИЯ VI

Подкатегория NO<sub>x</sub>

Окислы азота: включают N<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, N<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and NO<sub>3</sub>

### КАТЕГОРИЯ VII

Подкатегория SO<sub>2</sub>

Двуокись серы SO<sub>2</sub>

### КАТЕГОРИЯ VIII

Щелочные газы BASE

Подкатегория: вещества, которые являются щелочными газами и не могут быть обнаружены как взвешенные, используя метод испытания воздуха NJ 1 или как VOC с использованием метода 3. Включает, но не ограничен NH<sub>3</sub> (BASE).

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАБОТЕ В ПРОГРАММЕ SUPER PRO DESIGNER.....	4
1.1. Начало работы в программе SuperPro Designer .....	4
1.2. Регистрация компонентов при моделировании в программе SuperPro Designer .....	6
1.3. Регистрация новых компонентов при моделировании в программе SuperPro Designer.....	8
1.4. Редактирование свойств нового зарегистрированного компонента.....	11
1.5. Регистрация готовых или новых смесей в программе SuperPro Designer .....	25
1.6. Типы процессов и размещение оборудования при моделировании в программе SuperPro Designer.....	31
1.7. Подвод к оборудованию технологических потоков и соединение оборудования в технологическую схему в программе SuperPro Designer ..	52
1.8. Инициализация входных технологических потоков в программе SuperPro Designer.....	53
1.9. Инициализация оборудования в программе SuperPro Designer.....	57
1.10. Установление лимитов выбросов веществ при моделировании в программе SuperPro Designer.....	91
1.11. Классификация потоков моделируемого процесса в программе SuperPro Designer.....	94
1.12. Расчет материального баланса в программе SuperPro Designer.....	96
1.13. Выполнение экономических расчетов в программе SuperPro Designer .....	96
1.14. Получение отчетов в программе SuperPro Designer .....	97
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ МЕТОДОМ АДСОРБЦИИ» .....	98
2.1. Цель работы .....	98

2.2. Основные положения .....	98
2.3. Задание на моделирование процесса адсорбционной очистки выбросов .....	99
2.4. Порядок выполнения задания .....	100
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ».....	104
3.1. Цель работы .....	104
3.2. Основные положения .....	104
3.3. Задание на моделирование процесса электрокаталитической очистки сточных вод .....	107
3.4. Порядок выполнения задания .....	108
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД» .....	112
4.1. Цель работы .....	112
4.2. Основные положения .....	112
4.3. Задание на моделирование процесса биологической очистки сточных вод .....	113
4.4. Порядок выполнения задания .....	114
5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИОНООБМЕННЫМИ МЕТОДАМИ».....	118
5.1. Цель работы .....	118
5.2. Основные положения .....	118
5.3. Задание на моделирование процесса ионообменной очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов .....	123
5.4. Порядок выполнения задания .....	126
6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ».....	127
6.1. Цель работы .....	127

6.2. Основные положения .....	128
6.3. Задание на моделирование процесса каталитической очистки .....	130
6.4. Порядок выполнения задания .....	133
7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД».....	134
7.1. Цель работы .....	134
7.2. Основные положения .....	135
7.3. Задание на моделирование процесса нейтрализации сточных вод ....	136
7.4. Порядок выполнения задания.....	139
8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ».....	140
8.1. Цель работы .....	140
8.2. Основные положения .....	141
8.3. Задание на моделирование процесса очистки сточных вод от взвешенных веществ .....	142
8.4. Порядок выполнения задания.....	142
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	146
Приложение	147

Учебное издание

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по курсу «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ»

Редактор В.Л. Родичева

Подписано в печать 11.05.2016. Формат 60х84 1/16. Бумага писчая.

Усл. печ. л. 9,30. Уч. -изд. л. 10,32. Тираж 50 экз. Заказ

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический  
университет»

Отпечатано на полиграфическом оборудовании кафедры экономики и  
финансов ФГБОУ ВО «ИГХТУ»

153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7