

Раков П.А.

студент

Научный руководитель: Борисова О.Н., к.ф.-м.н.

Технологический университет им. Леонова А.А.

СОЗДАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ФИЛЬТРА И СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ СОРБЕНТА В ANYLOGIC

Аннотация: В условиях современных глобальных вызовов проектирование новых средств индивидуальной и коллективной защиты становится важной задачей для оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации. Данная работа посвящена разработке эффективных методов моделирования продукции, основанной на процессе фильтрации воздуха с использованием сорбентов. В процессе исследования выделены ключевые проблемы, связанные с проектированием, включая выбор структуры изделия, подбор материалов, проведение испытаний и экономическую оценку.

Целью работы является создание показательной модели работы фильтра и статистической модели функционирования сорбента с использованием программного обеспечения AnyLogic. Для достижения поставленной цели проведен анализ принципа работы фильтра, разработана модель его функционирования и статистическая модель работы сорбента. Использование моделирования позволяет прогнозировать поведение изделий в различных эксплуатационных условиях, что значительно сокращает время на разработку и повышает эффективность производственных процессов.

Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации проектирования средств защиты, улучшения их функциональных характеристик и повышения экономической эффективности производства. Работа подчеркивает важность применения современных методов моделирования в разработке средств защиты, что способствует более быстрому и качественному решению актуальных задач в области безопасности.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты, средства коллективной защиты, моделирование, фильтрация воздуха, сорбенты, проектирование, AnyLogic, статистическое моделирование.

Rakov P.A.

student

Scientific supervisor: O.N. Borisova, Ph.D. ,

Technological University named after Leonova A.A.

CREATION OF AN EXPONENTIAL MODEL OF FILTER OPERATION AND STATISTICAL SORBENT OPERATION IN ANYLOGIC

Abstract: In the context of modern global challenges, designing new means of individual and collective protection is becoming an important task for the military-industrial complex of the Russian Federation. This work is devoted to the development of effective methods for product modeling based on the process of air filtration using sorbents. In the course of the research, key problems related to design were identified, including the choice of product structure, selection of materials, testing and economic assessment. The aim of the work is to create an indicative model of filter operation and a statistical model of sorbent functioning using the AnyLogic software. To achieve this goal, the principle of operation of the filter was analyzed, a model of its functioning and a statistical model of sorbent operation were developed. The use of modeling makes it possible to predict the behavior of products in various operating conditions, which significantly reduces development time and increases the efficiency of production processes. The research results can be used to optimize the design of protective equipment, improve their functional characteristics and increase the economic efficiency of production. The work highlights the importance of using modern modeling methods in the development of protective equipment, which contributes to a faster and better solution of urgent security problems.

Keywords: personal protective equipment, collective protective equipment, modeling, air filtration, sorbents, design, AnyLogic, statistical modeling.

Содержание

Введение.....	3
1. Анализ предметной области.....	4
1.1. Проверка на время защитного действия.....	4
1.1.1. Активные угли.....	5
1.1.2. Равновесие при адсорбции.....	6
1.1.3. Материальный баланс процесса адсорбции.....	9
2. Построение первичных моделей на AnyLogic.....	11
2.1. Создание первичной модели работы фильтра.....	13
2.2. Статистическая модель процесса абсорбции.....	15
Заключение.....	21
Список источников.....	22

Введение

Проектирования новых передовых средств индивидуальных и коллективных средств защиты является одним из важнейших на сегодняшний день, с учётом нынешней ситуации в мире, вопросов для оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации.

Разработка подобных средств имеет следующие проблемы:

- выведение нужной структуры изделия,
- подбор веществ и готовых деталей для изделия,
- проведение испытаний изделия,
- подсчет экономической эффективности,
- введение изделия в производство.

Все выше перечисленные проблемы сильно времязатратны. Подбор структуры зависит от использования, так как коллективные и индивидуальные средства защиты в основе своей имеют разный форм фактор и строение. Подбор веществ, а в основе своей сорбентов, краски, эмалей, металлов, занимает большое количество времени, так как учитывается себестоимость и доступность материалов, которое нужно и для выведение экономической эффективности. Подсчет трудовых затрат на производство. Испытания разработки, для изучения эффективности изделия в разных средах и ситуациях во время его эксплуатации. Введение изделия в производство сопровождается собой множеством бумаг, для производства, а также, возможно если изделие имеет военное назначение, засекречивания и согласование с военным представителем.

Изделия в принципе проходит долгий путь при разработке, однако некоторые детали можно спрогнозировать. Применения моделирования в разработке показывало себя хорошо в таких областях как промышленность и строительство, так как заранее предполагая факторы выпускаемого изделия, можно заранее предположить возможные итоги при эксплуатации. Следовательно, смоделировать ситуации, в которых будет находится изделия

или строение возможно, основываясь на математической или словесной модели, но словесная модель будет иметь меньшую эффективность.

В случае моделирования массовых и индивидуальных средств защиты, можно прибегнуть к моделированию и заранее спрогнозировать как поведёт себя изделия в различных ситуациях, для которых оно предназначено, что сократит в свою очередь время на разработку изделия.

Объектом исследований данной работы является продукция процесс фильтрации воздуха сорбентом.

Основной целью научно-исследовательской работы является создание показательной модели работы фильтра и статистической работы сорбента в AnyLogic.

Для того, чтоб достичь необходимого результата, в работе поставлены следующие задачи:

- проанализировать принцип работы фильтра,
- построение модели работы фильтра,
- построение статистической модели работы сорбента.

1. Анализ предметной области

1.1. Проверка на время защитного действия

В качестве процесса для моделирования фильтра будет использоваться проверка на время защитного действия. Для проверки на время защитного действия пользуются специальной тестовой установкой, но зная принцип процесса тестирования или сам процесс и его условия теоретически можно его смоделировать путём использования расчетных формул и внедрения их в программу. Для проведения испытания на время защитного действия используют принцип процесса адсорбции.

Адсорбция – процесс поглощения одного или нескольких компонентов из газовой или жидкой фазы твердым пористым поглотителем (адсорбентом). Поглощаемое вещество называют адсорбтивом, а после того как оно перешло в адсорбированное состояние – адсорбатом [2].

Адсорбцию применяют в промышленности при очистке и осушке газов, очистке и осветлении растворов, а также разделении смесей газов и паров. Например, адсорбцию широко используют при извлечении летучих растворителей из смеси с воздухом и другими газами, для очистки аммиака перед контактными аппаратом, осушки природного газа, выделения ароматических углеводородов из коксового газа, в производстве пластмасс, синтетического каучука, в нефтехимии и т.д. В зависимости от природы сил, действующих на поверхности твердого тела, различают физическую адсорбцию, вызываемую силами молекулярного взаимодействия, и хемосорбцию, обуславливаемую силами химического взаимодействия.

Во многих случаях технологическая очистка промышленных газов (от SO_2 , CS_2 , NO_2 , NO и др.) с помощью адсорбентов представляет собой один из методов защиты окружающей среды.

Адсорбенты – твердые вещества с сильно развитой внутренней поверхностью, включающей поры различного размера. Различают микропоры, переходные поры и макропоры. Микропоры имеют размеры, соизмеримые с размером молекул поглощаемого компонента. Эффективные радиусы микропор $5 \times 10^{-10} - 1,5 \times 10^{-9}$ м. Переходные поры с радиусом $1,5 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-7}$ м. Макропоры с радиусом более 2×10^{-7} м. Они являются транспортными каналами в зернах адсорбента.

В промышленности в качестве адсорбентов применяют силикагели, алюмогели и алюмосиликатные катализаторы, цеолиты, активные угли.

1.1.1. Активные угли

Активные угли – пористые промышленные адсорбенты, состоящие в основном из углерода. Эти адсорбенты получают сухой перегонкой ряда углесодержащих веществ (древесины, каменного угля, торфа, отходов бумажного производства и др.) с целью удаления летучих. После этого уголь активируют и прокалывают его при температуре 850—900 °С, что приводит к освобождению пор от смолистых веществ и образованию новых микропор.

Активация может проводиться также экстрагированием смол из пор органическими растворителями, окислением кислородом воздуха. Более однородная структура углей получается путем их обработки горячими растворами солей (сульфатами, нитратами и др.) или минеральными кислотами (серной, азотной и др.) [2].

Удельная поверхность активных углей составляет $6 \times 10^5 - 17 \times 10^5$ м²/кг, а их насыпная плотность 200–900 кг/м³. Активные угли применяют в виде частиц неправильной формы размером 1–7 мм, цилиндров диаметром 2–3 мм и высотой 4–6 мм и порошка с размером частиц менее 0,15 мм. По назначению угли делятся на газовые, рекуперативные и осветляющие.

Газовые предназначены для улавливания плохо сорбируемых компонентов из газовых фаз в небольших концентрациях; рекуперативные для поглощения хорошо собирающихся паров, находящихся в газовых фазах в больших концентрациях; осветляющие используются для адсорбции веществ из жидких сред.

1.1.2. Равновесие при адсорбции

Равновесие при адсорбции характеризуется зависимостями количества вещества, поглощенного единицей массы или объема данного адсорбента, от температуры и концентрации поглощаемого вещества в парогазовой среде (растворе) [2]:

$$X^i = (Y, T), \quad (1)$$

где X^i — относительная массовая доля поглощаемого компонента адсорбенте, равновесная с концентрацией адсорбтива в газовой (жидкой) фазе, кг адсорбтива/кг адсорбента; Y — относительная массовая доля адсорбтива в фазе, из которой поглощается вещество; T — температура вещества.

Содержание адсорбтива может быть выражено его парциальным давлением P в парогазовой смеси [2]:

$$X^i = f_1(P). \quad (2)$$

Зависимости $X^i=(Y,T)$ и $X=f_1(P)$ представляют в общем виде линии равновесия при адсорбции или изотермы адсорбции на (рис. 1). Конкретная форма этой зависимости определяется свойствами и механизмом взаимодействия адсорбента и поглощаемого вещества.

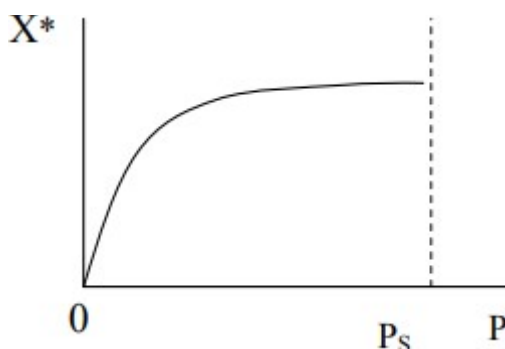


Рисунок 1 – Изотерма адсорбции

P_s – парциальное давление насыщенного пара адсорбата. В средней части равновесную кривую можно описать эмпирическим уравнением Фрейндлиха [2]:

$$P = k * X^n \text{ или } X = k * P^{\frac{1}{n}}, \quad (3)$$

где k и n — константы, определяемые экспериментально.

Недостаток: имеет большую погрешность при малых значениях X и при X , близких к насыщению.

Лучше, чем уравнение Фрейндлиха, процесс физической адсорбции описывается уравнением Лангмюра [2]:

$$X = X_{\infty} \frac{P}{P+b}, \quad (4)$$

Изотерма адсорбции является источником информации структуре адсорбента, тепловом эффекте адсорбции и других характеристиках процесса. Выделяют пять основных типов изотерм адсорбции (рис. 2).

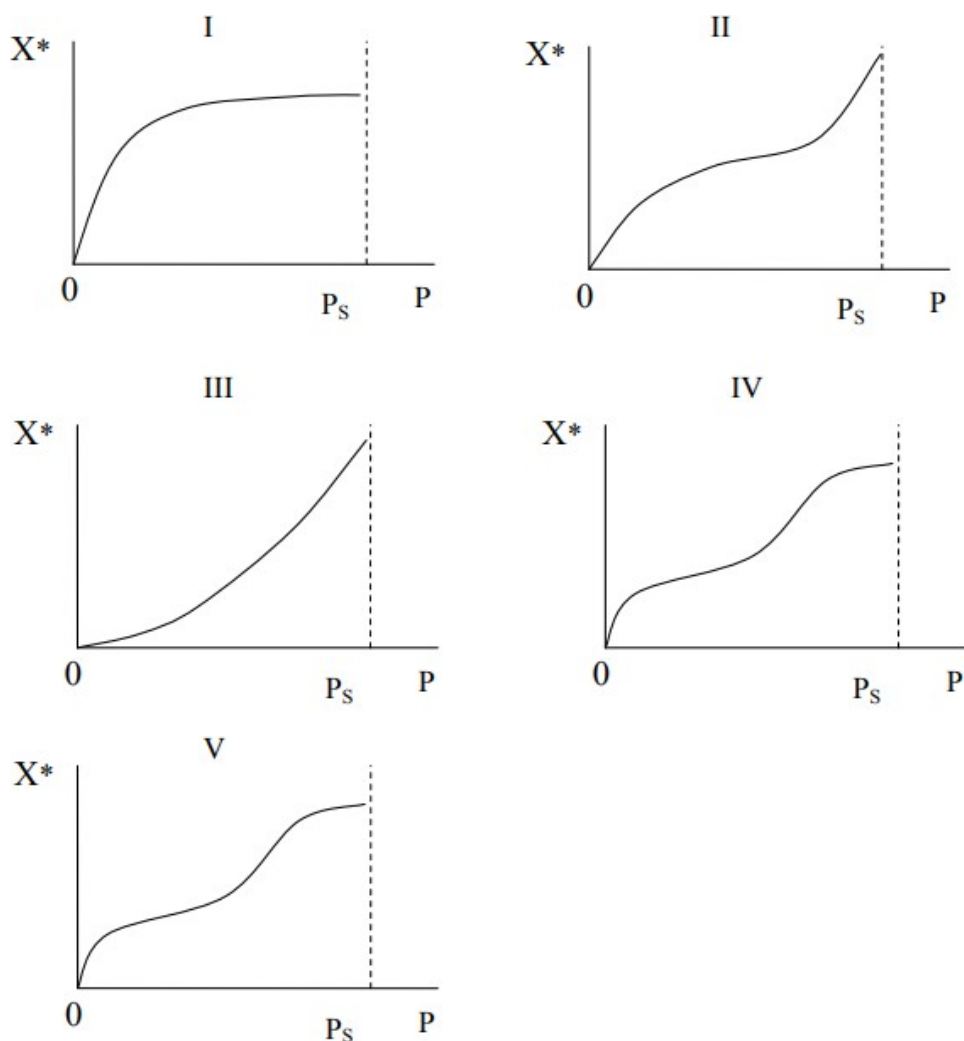


Рисунок 2 – Типы изотерм адсорбции

Тип I характерен для микропористых сорбентов. Начальные выпуклые участки изотерм типов II и IV указывают на присутствие наряду с макропорами некоторого объема микропор. Начальные вогнутые участки изотерм типов III и V указывают на то, что взаимодействие молекул адсорбата с адсорбентом значительно меньше межмолекулярного взаимодействия для молекул адсорбата. Отличие изотерм II от IV и III от V заключается в том, что объем переходных пор (IV и V типы) заполняется адсорбатом раньше, чем относительное давление P/P_s приблизится к 1 (в результате капиллярной конденсации). При этом на изотермах появляется верхний участок, близкий к горизонтальному. Типы изотерм III и V встречаются редко.

Теплота адсорбции. В процессе адсорбции может выделяться значительное количество тепла. Теплоту адсорбции (в Дж/моль) обычно

определяют опытным путем. При отсутствии экспериментальных данных она может быть вычислена по уравнению [2]:

$$r^i = \frac{19,16 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)}{\left(\frac{1}{T_1}\right) - \left(\frac{1}{T_2}\right)}, \quad (5)$$

где P_1 и P_2 – равновесные давления поглощаемого вещества над адсорбентом, соответствующие абсолютным температурам T_1 и T_2 .

1.1.3. Материальный баланс процесса адсорбции

Вид уравнений материального баланса процесса адсорбции зависит от того, какой аппарат предстоит рассчитать – периодически или непрерывно действующий.

При проведении непрерывного процесса адсорбции обычно организуют противоток газа-носителя и адсорбента. В этом случае уравнение материального баланса аналогично уравнению для противоточного абсорбера [2]:

$$L(X_K - X_H) = G(Y_H - Y_K), \quad (6)$$

где L – расход адсорбента, G – расход газа—носителя, X_K и X_H – начальное и конечное содержание поглощаемого вещества в адсорбенте, Y_K – среднее содержание поглощаемого вещества в отходящих газах за период адсорбции, Y_H – содержание адсорбтива в газе носителе.

Движущая сила выражается разностью концентраций [2]:

$$\text{— в адсорбенте } \Delta X = X^i - X, \quad (7)$$

$$\text{— в газовой фазе } \Delta Y = Y - Y^i. \quad (8)$$

В аппаратах с неподвижным слоем адсорбента поток газа, содержащий поглощаемое вещество, периодически проходит через зернистый слой адсорбента. Уравнение материального баланса для элемента слоя высотой dx имеет вид [2]:

$$\varepsilon \frac{\partial C}{\partial \tau} + \rho_{\text{нас}} \frac{\partial X}{\partial x} + w \frac{\partial C}{\partial x} = \varepsilon D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (9)$$

где C – концентрация поглощаемого вещества в газовой фазе, кг/м³; X – концентрация поглощаемого вещества в твердой фазе, кг/ кг адсорбента; ε – порозность слоя адсорбента; $\rho_{\text{нас}}$ — насыпная плотность адсорбента, кг/м³; w – скорость движения газовой фазы, м/с; x — продольная координата, м; τ – время, с; D_L – коэффициент продольного перемешивания, м²/с.

Уравнение (7) содержит две неизвестные функции $X(x, \tau)$ и $C(x, \tau)$, поэтому для получения замкнутой системы уравнений материальный баланс дополняется уравнением кинетики [2]:

$$\frac{\rho_{\text{нас}}}{f_{\text{уд}}} \frac{\partial X}{\partial \tau} = k_c [C - C^*(X)], \quad (10)$$

и уравнением изотермы адсорбции [2]:

$$X = f(C^i), \quad (11)$$

где: $f_{\text{уд}}$ – удельная внешняя поверхность твердой фазы, м²/м³; k_c – коэффициент массопередачи, м/с.

Система уравнений 7–9 аналитического решения в общем случае не имеет. Имеются лишь решения в упрощенных частных случаях, когда пренебрегают либо сопротивлением массопередачи (равновесный режим адсорбции), либо продольным перемешиванием.

Поэтому в практике инженерных расчетов периодической адсорбции пользуются приближенным методом, предложенным впервые Н.А. Шиловым. Этот метод применим при выпуклой кривой равновесия.

Физическая сущность метода заключается в том, что расчет сводится к определению времени, в течение которого слой заданной высоты H способен извлекать из потока газа компонент таким образом, чтобы его содержание на выходе из слоя не превышало заданной величины. Это время называют временем защитного действия слоя

При подаче в нижний слой адсорбера газовой фазы через некоторое время происходит насыщение его фронтального участка поглощаемым компонентом,

и газовый поток проходит этот участок без изменения концентрации. Время работы слоя до насыщения его лобового участка называется периодом формирования фронта адсорбции. На этом заканчивается первый период адсорбции и наступает второй период – период параллельного переноса стационарного фронта адсорбции, который характеризуется перемещением профиля концентраций по направлению потока с некоторой постоянной скоростью. С момента выхода из слоя высотой H точки фронта адсорбции с заданной предельной концентрацией заканчивается время защитного действия слоя.

Длительность работы слоя адсорбента в стадии параллельного движения фронта сорбции рассчитывается по уравнению Н.А. Шилова (рисунок 3):

$$\tau = KH - \tau_0, \quad (12)$$

где τ – время защитного действия слоя, с; K – коэффициент защитного действия, с/м, показывающий время защитного действия слоя длиной 1 м; H – высота слоя, м; τ_0 – потеря времени защитного действия (кинетическая константа, пропорциональная скорости массообмена, при бесконечно большой скорости становится равной нулю).

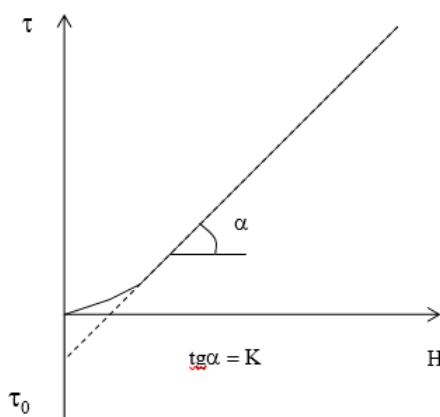


Рисунок 3 – Зависимость времени защитного действия от высоты слоя адсорбента

Средняя концентрация поглощаемого вещества во всем слое адсорбента к моменту «проскока» называется динамической активностью адсорбента.

2. Построение первичных моделей на AnyLogic

AnyLogic — программное обеспечение для имитационного

моделирования, разработанное российской компанией The AnyLogic Company (бывшая «Экс Джей Текнолоджис», англ. XJ Technologies). Инструмент обладает современным графическим интерфейсом и позволяет использовать язык Java для разработки моделей [3].

Программа имеет огромный инструментарий для разработки разного рода динамических моделей: модели системы массового обслуживания, логические модели, демонстрационные модели и тому подобное. Интерфейс программы (рис. 4) сконструирован таким образом, что инструментарий расположен во вкладках и на боковой и верхней панелях.

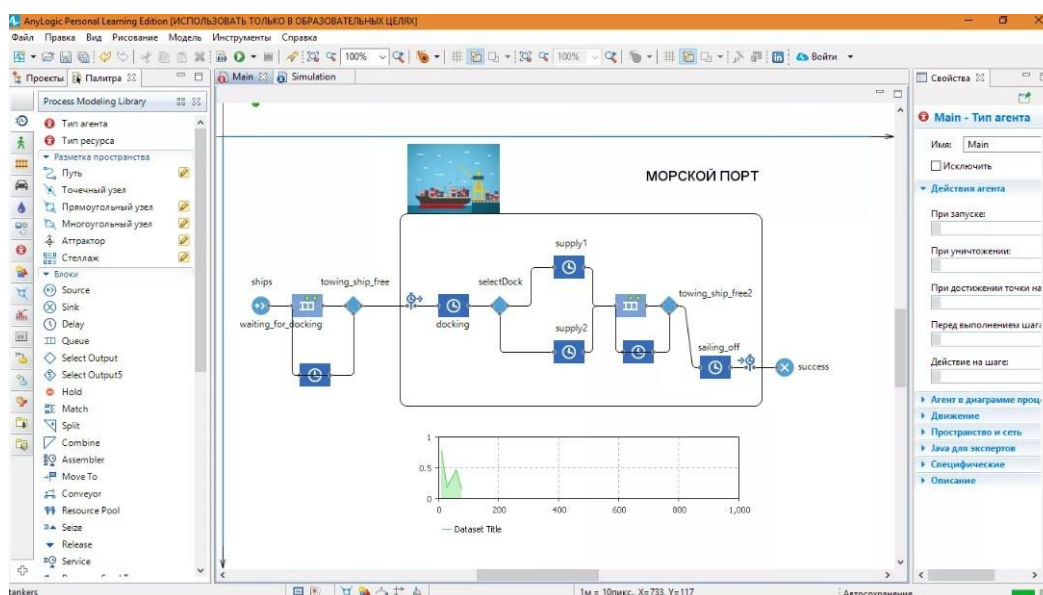


Рисунок 4 – интерфейс программы AnyLogic

Одновременно достоинством и недостатком программы можно считать возможность создания свойств или условий объектов с помощью команд на языке Java. Достоинство в том, что создания условия или свойств объектов на языке программирования Java даёт возможность тонкой настройки, однако недостаток в том, что для того чтобы пользоваться данной возможностью, необходимо знать язык Java хотя бы на начальном уровне.

Так же основным недостатком в бесплатной версии является ограничение в количестве элементов в рабочем поле. Максимальное количество элементов 200 штук, что для составления детальных моделей со множеством процессов не подойдёт, так как декомпозиция процесса ограничена возможностью

программы.

В остальном же это одна из самых доступных программ для моделирования процессов на сегодняшний день.

В случае данной работы будут построены несколько моделей для дальнейшего использования полученных результатов при создании программы.

2.1. Создание первичной модели работы фильтра

Работа сорбента заключается в фильтрации воздуха от вредных примесей. Иными словами, для работы сорбента необходимо применить принцип работы абсорбции материалов. Для этого теоретически могла бы подойти библиотека “Моделирования потоков”, однако она не подходит из-за отсутствия функционала в некоторых блоках. Есть библиотека “Моделирования процессов”, но имея нужный функционал в полной мере она не отобразит работу сорбента, поэтому было принято решение использовать две библиотеки.

На базовом уровне фильтр работает примерно так:

1. Во входное отверстие подаётся воздух.
2. Воздух фильтруется фильтр-элементом для очистки от песка (или некоторых веществ, которое или оседают на сетке, или не пропускаются сеткой фильтр-элемента).
3. Отфильтрованный воздух проходит через сорбент и очищается от вредных веществ.
4. Воздух уходит через выходное отверстие.

Такую модель можно наблюдать на рисунке 5. Она не является моделью, которая полностью передаёт фильтра, а лишь показывает, как приблизительно он работает. В данный момент использованы параметры по умолчанию.

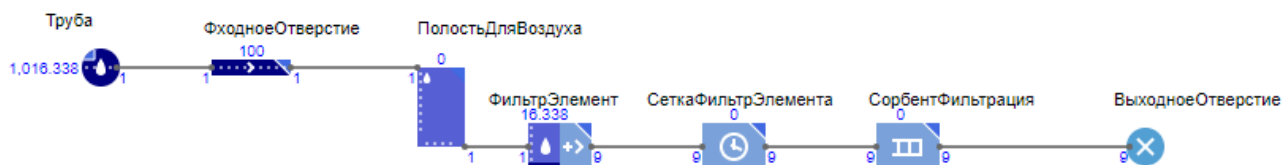


Рисунок 5 – Модель примерной работы фильтра

В модели использованы блоки:

— FluidSource(Труба) – блок имитирует подачу воздуха. Сам воздух подаётся в трубу, но не производится ей на стенде. Однако для построения модели — это не важно.

— Pipeline(ВходноеОтверстие) - нужно для обозначения через что воздух поступает в фильтр.

— Tank(ПолостьДляВоздуха) – имитация полости внутри фильтра. Каждый фильтр внутри немного полый, в эту полость поступает воздух. Этот элемент имитирует данную полость.

— FluidToAgent(ФильтрЭлемент) – блок переводит из потока, в агента. Имитирует работу фильтр-элемента.

— Delay(СеткаФильтрЭлемента) – имитация сетки фильтра. Сетка должна задерживать примеси в воздухе.

— Queue(СорбентФильтрация) – имитирует работу сорбента. Это последняя очистка воздуха. Однако в некоторых видах фильтра видов сорбента может быть несколько.

— Sink (Выходное отверстие) – имитирует выходное отверстие. Это просто выход воздуха из фильтра.

В данной модели не использован осушитель, однако здесь им можно пренебречь. Далее модифицируем модель.

Для этого добавим задержку в блоках и уберём блок Tank(ПолостьДляВоздуха). Мы можем убрать этот блок так как в блоке FluidToAgent(ФильтрЭлемент) тоже есть объём. Значит полостью можно пренебречь. Модифицированная модель показана на рисунке 6.

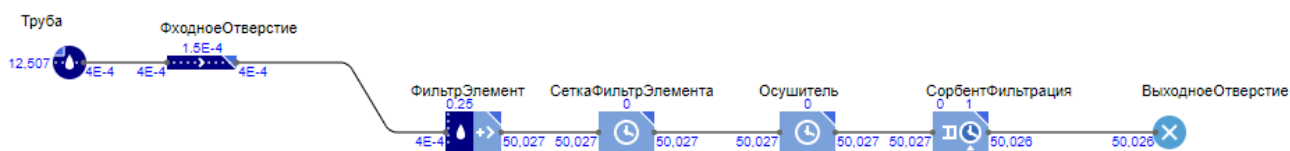


Рисунок 6 – Модифицированная модель работы фильтра

Для лучшей работы модели необходимо пренебречь скоростью подачи воздуха. В данный момент она приближена к реальным, а именно равна 0,004 м³/с. Это нужно для лучшей работы модели. Так же добавим 2 блока queue. Один блок переименуем в “СеткаФильтрЭлемента”, другой в queue в “Осушитель”. Далее блоки delay переименуем в “ФильтрацияСеткой” и в “ПроцессСушкиВоздуха”. Полученная модель показана на рисунке 7.



Рисунок 7 – Вторая модификация модели работы фильтра

В дальнейшем можно менять параметры модели и добавлять блоки в зависимости от вида фильтра. В данном случае рассмотрен базовый вариант работы. Однако здесь не учитывается тип газа, тип сорбента и осушителя, так как в данной работе ими можно пренебречь.

2.2. Статистическая модель процесса абсорбции

Статистическая модель процесса абсорбции, базируется на процессе абсорбции. Однако, в условиях AnyLogic и принципах моделирования

процессов, некоторыми величинами, формулами и значениями придётся пренебречь. Это сделано из-за особенности цели модели. В данном случае нам не нужно рассматривать все варианты расчёта для статистической модели. Для данной работы достаточно использовать расчёт коэффициента защитного действия слоя адсорбента. Основная формула указана выше. Однако нам необходимо её немного модифицировать, так как количество использованного защитного слоя не изменяется. Значит у нас выходит следующая формула [4]:

$$\tau = k * (H - h) - \tau_0, \quad (12)$$

где τ – время защитного действия слоя, с; k – коэффициент защитного действия, с/м, показывающий время защитного действия слоя длиной 1 м; H – высота слоя, м; τ_0 – потеря времени защитного действия (кинетическая константа, пропорциональная скорости массообмена, при бесконечно большой скорости становится равной нулю), h – высота неиспользованного слоя адсорбента.

Высота неиспользованного на момент первого опыта будет константой. Далее необходимо построить саму модель. Модель показана на рисунке 8.

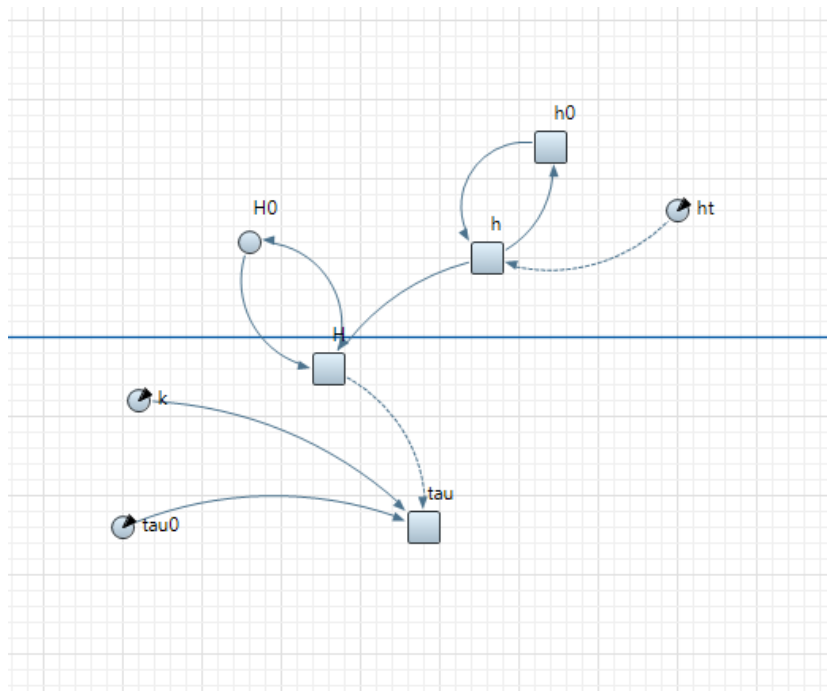


Рисунок 8 – Статистическая модель

В модель были добавлены блоки для динамического подсчёта не рабочего слоя сорбента. Это создано для приближения работы модели к реальным условиям эксплуатации сорбента в фильтре.

Первичная имеет следующие блоки: Динамическая переменная ht (изменение не используемого защитного слоя), параметр k (коэффициент защитного действия), τ_0 (потеря времени защитного действия), H (изменение не используемого защитного слоя), h_0 ; накопители H (высота слоя), h_0 (конечный используемый слой), τ (время защитного слоя).

С помощью данных блоков разбита формула абсорбции. Далее необходимо добавить диаграмму. Модифицированная модель показана на рисунке 9.

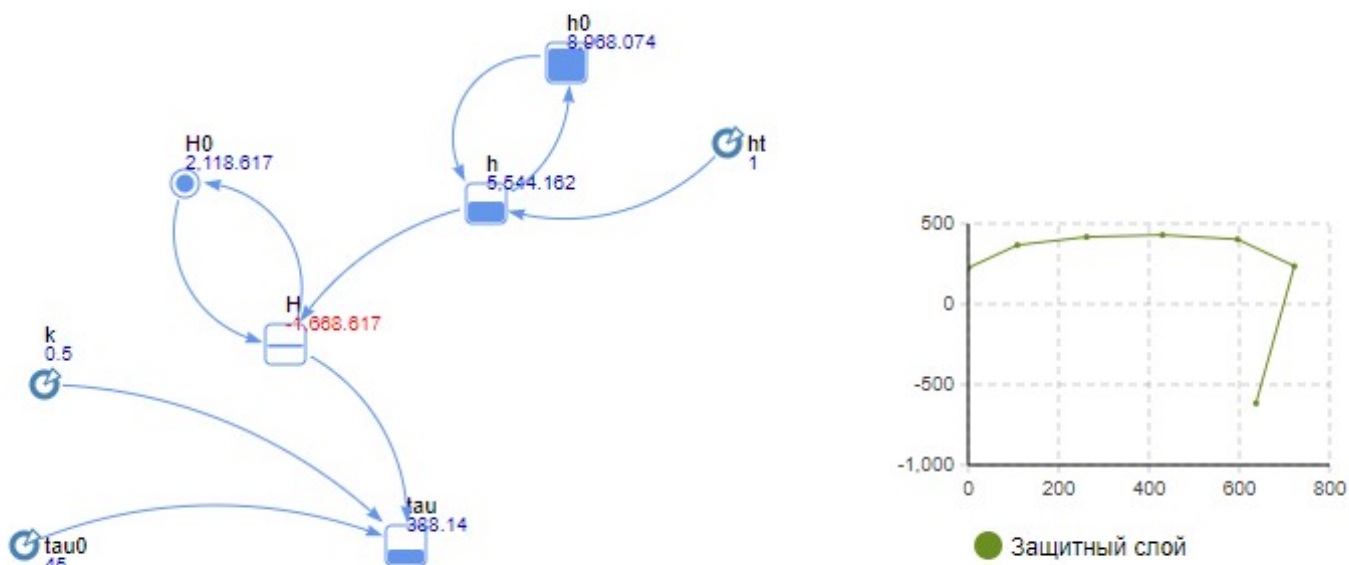


Рисунок 9 – Модифицированная статистическая модель

На данный момент графики показывает зависимость защитного слоя и коэффициента защитного слоя по времени. На графиках мы можем увидеть в какой момент защитный слой перестает работать. Значение для модели взяты случайные.

Далее модифицируем модель. Для этого необходимо изменить параметр коэффициента защитного слоя, который будет зависеть от скорости подачи

загрязненного воздуха. Для этого мы сделаем величину коэффициента защитного действия зависимой от скорости движения фронта сорбции [4]:

$$k = \frac{1}{U}, \quad (13)$$

где U – это скорость движения фронта сорбции. Далее необходимо сделать скорость движения фронта сорбции тоже динамическим, так как фронт сорбции не постоянный и рассчитывается по следующей формуле:

$$U = \frac{W * C_0}{a_p}, \quad (14)$$

где W – скорость газового потока, см/с; C_0 -концентрация адсорбтива, моль/см³ газа; a_p – равновесная адсорбтивная способность, моль/см³ адсорбтива. Далее модифицируем модель следующим образом как на рисунке 11.

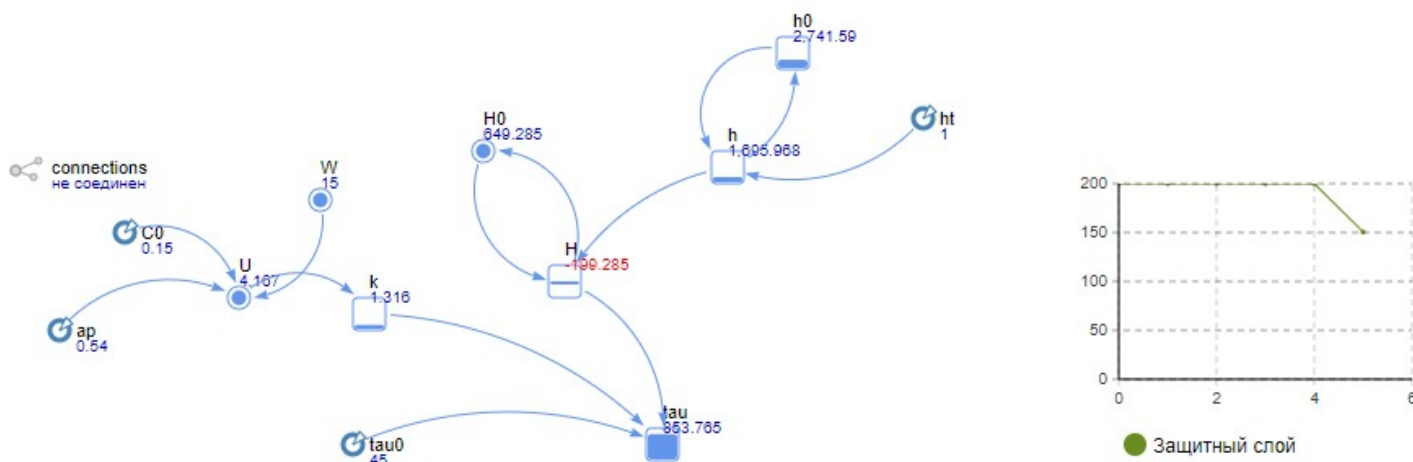


Рисунок 11 – Модификация модели с использованием динамического коэффициента защитного слоя

Для дополнения использованы следующие блоки: Параметры C_0 (концентрация адсорбтива), a_p (равновесная адсорбтивная способность); Динамические переменные U (скорость движения фронта сорбции), W ; Накопитель k .

Однако, подача воздуха должна быть случайной величиной, так как она колеблется, но в небольшом диапазоне. Следовательно, сделаем динамическую переменную W варьируемой, а не статической с помощью команды

“Triangular”. Эта команда даёт на задать диапазон значений для их случайного выбора. Далее мы наблюдаем следующее на рисунке 12.

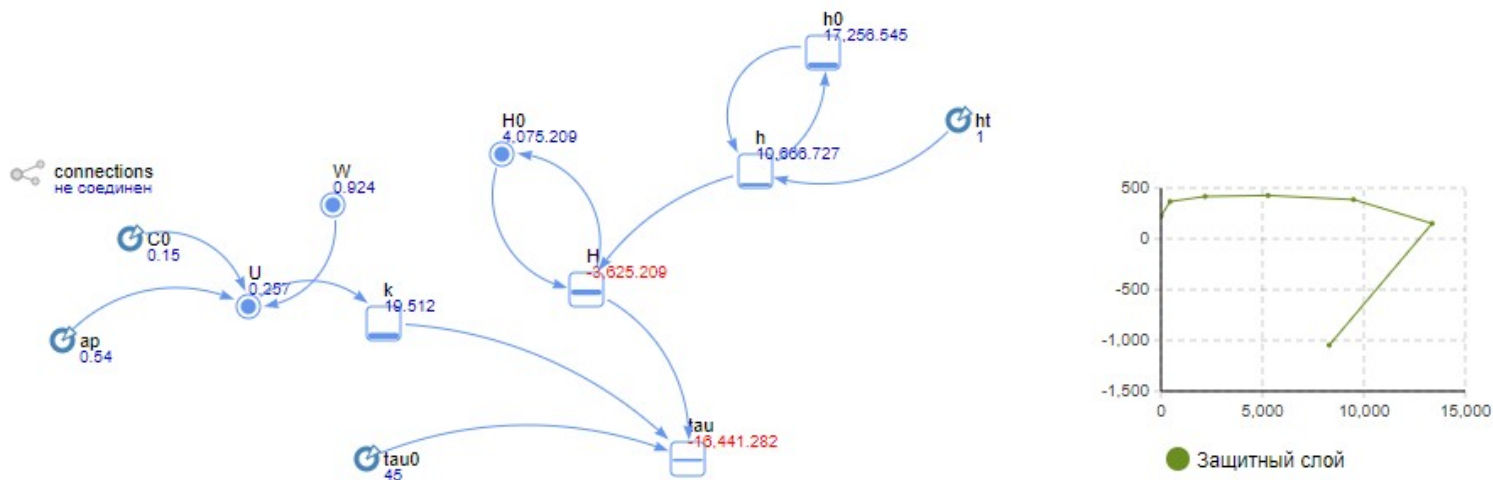


Рисунок 12 – Модификация с динамической подачей воздуха

Далее изменим используем реальные показатели для модели. Эту нужно для создания, приближенного к реальному суждения об времени за которое защитный слой полностью иссякнет.

Возьмём следующие параметры по аммиаку для АГ-5. Скорость газового потока возьмём минимально возможную. Далее возьмём следующие параметры [4]:

- $H = 450$ см,
- $a_p = 0,54$ моль/см³,
- $W = от 1,2 до 2$ см/с,
- $C_0 = 1,2$ моль/см³,
- $\tau_0 = 0,35$ с,
- $h_t = 1$ см.

Проведём следующий опыт, показанный на рисунке 13. Из опытов мы можем сделать вывод, что примерно на 112 минуте защитный слой полностью перестал работать при заданных параметрах. Основную роль здесь сыграла

подача загрязненного воздуха, из-за чего и время, за которое израсходовался защитный слой такое большое, а сама модель является рабочей.

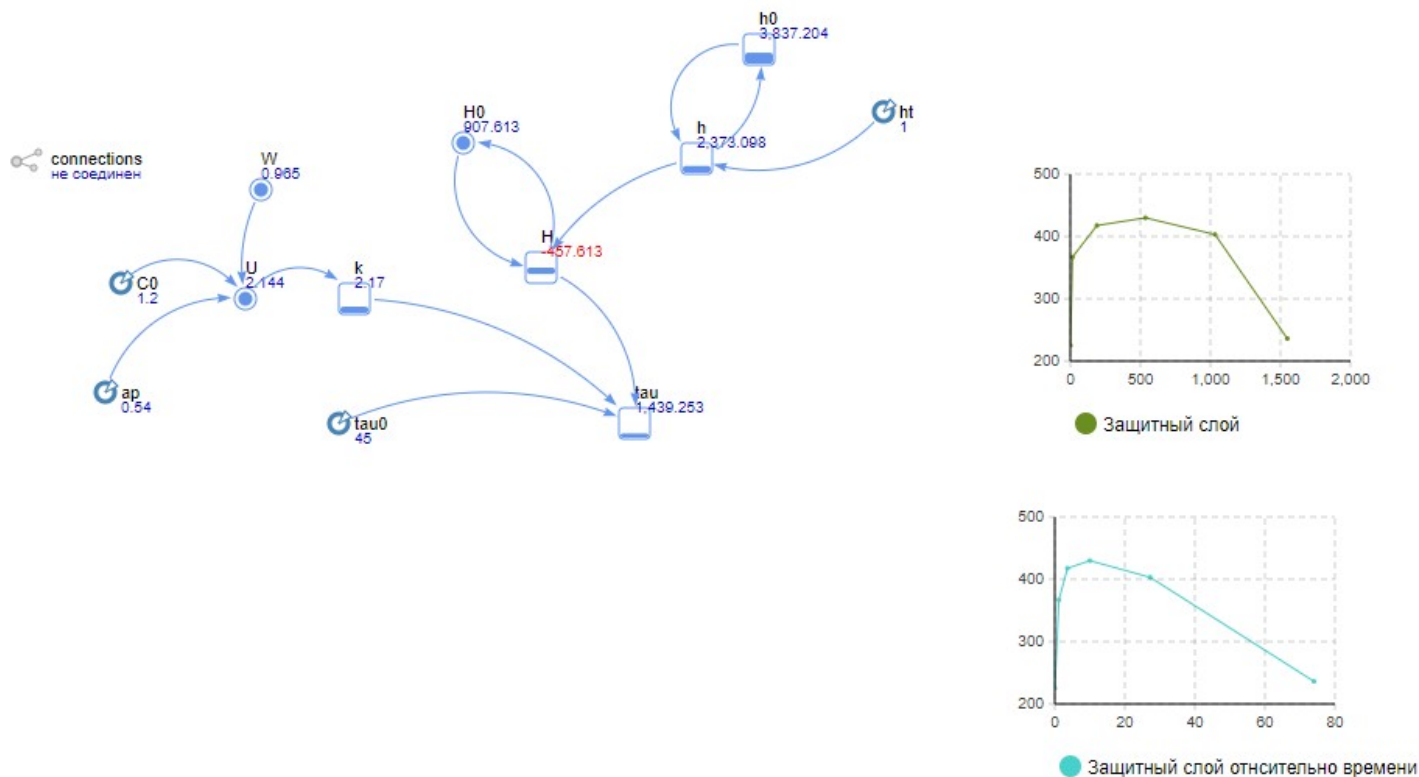


Рисунок 13 – Тестирование АГ-5 на аммиаке

Заключение

По итогам проделанной работы были построены показательная модель работы фильтра с несколькими возможными модификациями.

Так же была построена статистическая модель, по которой можно сделать вывод о работе сорбента в фильтре.

В дальнейшем с помощью данных моделей будет построена логика работы программы в ВКР программы для моделирования работы фильтра.

Список источников

1. Сайт ЭХМЗ ИМ. Н.Д. Зеленского [Электронный ресурс] Сайт: <https://ehmz.ru/> URL: <https://ehmz.ru/> (дата обращения: 19.12.2024).
2. Липин А.Г. Расчет адсорбционных установок: учебное пособие для курсового проектирования. Иваново: ФГБОУ ВПО “Ивановский государственный, химико-технологический университет”, 2014.
3. AnyLogic [Электронный ресурс] Сайт: ru.wikipedia.org URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki/AnyLogic> (дата обращения: 20.12.2024).
4. Адсорбция примесей токсичного газа из загрязненного воздуха [Электронный ресурс] Сайт: <https://elar.usfeu.ru> URL: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/3233/1/Gorbatenko.pdf> (дата обращения: 24.12.2024).