



Получено: 20.03.2023 г. | Принято: 27.03.2023 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.144.151>

Научная статья

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ. КОНФИГУРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОСТАДИЙНОГО ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА БЕСПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ

Д.М.Баматов¹, ст. науч. сотр., ORCID: 0000-0003-3584-0002

И.М.Баматов², к.б.н., науч. сотр., ORCID: 0000-0002-9098-5012

Х.Х.Сапаев³, д.т.н., проф., ORCID: 0000-0001-6116-1754

Аннотация. Целью данной работы является предложение конфигурации элементов модели химического реактора непрерывного действия, который соответствовал бы критериям идеальности работы химических реакторов. Была предложена методика для моделирования химического реактора. Семишаговая методика проектирования реакторов позволяет по заранее вычисленным параметрам подбирать материалы для реактора, проводить предварительный дизайн реактора с необходимыми массогабаритными характеристиками. Это дало возможность нам предложить конфигурацию элементов для много стадийного химического реактора для непрерывного смешивания жидкостей. Была предложена конфигурация 6-стадийного реактора, в котором каждая стадия представляет собой изолированный объем перемешивания. Перемешивание достигается за счет колебательного элемента в виде основания реактора. Объемы перемешивания составлены таким образом, что каждый объем равняется 1 л. Все 6 объемов связаны между собой последовательно, что достигается за счет правильного дизайна крышек объема перемешивания. Также еще предусмотренным элементом конфигурации реактора является система мониторинга за температурным режимом внутри объема перемешивания реактора. Такая конструкция позволит получить многофункциональный химический реактор для непрерывного смешивания жидкостей с производительностью до 6 л за один цикл работы.

Ключевые слова: химический реактор, моделирование реактора, непрерывное смешивание, конфигурация элементов, основание реактора, углеродное волокно, термосенсоры

Для цитирования: Д.М. Баматов, И.М. Баматов, Х.Х. Сапаев. Моделирование химических реакторов. конфигурация элементов многостадийного химического реактора непрерывного действия для перемешивания жидкостей. НАНОИНДУСТРИЯ. 2023. Т. 16, № 2. С. 144-151. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.144.151>.

Received: 20.03.2023 | Accepted: 27.03.2023 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.144.151>

Original paper

CHEMICAL REACTOR DESIGN. THE CONFIGURATION OF PARTS FOR A MULTI-STAGE CHEMICAL REACTOR FOR CONTINUOUS LIQUID MIXING

D.M.Bamatov¹, st. науч. сотр., ORCID: 0000-0003-3584-0002

I.M.Bamatov², зав. УНИЛ, ORCID: 0000-0002-9098-5012

H.H.Sapaev³, д.т.н., проф., ORCID: 0000-0001-6116-1754

¹ Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д.Миллионщикова, Грозный, Россия / Grozny State Oil Technical University, Grozny, Russia

² Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва, Россия / V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

³ Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова / Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russia



Abstract. The purpose of this work was to propose a configuration of the elements of a model of a continuous chemical reactor that would meet the criteria for the ideality of the operation of chemical reactors. A technique has been proposed for modeling a chemical reactor. The 7-step method for designing reactors makes it possible to select materials for the reactor according to pre-calculated parameters, and makes it possible to carry out a preliminary design of the reactor with the necessary weight and size characteristics. This allowed us to propose the configuration of elements for a multi-stage chemical reactor for continuous mixing of liquids. A six stage reactor configuration has been proposed. In which each stage is an isolated mixing volume. Mixing is achieved by means of an oscillatory element in the form of the base of the reactor. Mixing volumes are designed in such a way that each volume equals 1 liter. All six volumes are interconnected in series, which is achieved due to the correct design of the covers of the mixing volume. One more configuration element of the reactor proposed is a system for monitoring the temperature regime inside the reactor mixing volume. A design like this will allow the construction of a multifunctional chemical reactor for continuous liquid mixing with an output capacity of 6 liters per a working cycle.

Keywords: chemical reactor, reactor design, continuous mixing, element configuration, reactor base, carbon fiber, thermosensor

For citation: D.M. Vamatov, I.M. Vamatov, H.H. Sapaev. Chemical reactor design. The configuration of parts for a multi-stage chemical reactor for continuous liquid mixing. NANOINDUSTRY. 2023. V. 16, no. 2. PP. 144-151. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2023.16.2.144.151>.

ВВЕДЕНИЕ

Россия в 2022 году оказалась в беспрецедентных санкционных условиях. Особенно остро встал вопрос об отечественных промышленных и химических технологиях. Разработка новых методов создания химических технологий, а также производство аппаратов для химических технологий являются наиболее важными задачами научно-промышленного комплекса. Одними из самых востребованных аппаратов на практически всех промышленных предприятиях являются химические реакторы.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

Стратегия создания химических реакторов позволит индивидуально, в зависимости от необходимой функциональности, разработать и проектировать химические реакторы на разных уровнях комплексности и конфигурации.

Химический реактор – это конструкция, которая изолирует взаимодействующие химические реактивы от внешней среды и позволяет добавлять или поглощать вырабатываемую внутри реактора энергию. Технологию создания реакторов разработали для исследований инженерии химических реакций (ИХР) [1].

Для описания и оценки работы химического реактора используют два типа идеальных реакторов: реактор идеального вытеснения (РИВ), а также идеальный реактор непрерывного действия с мешалкой (ИРБДМ) [2, 3].

В основном поток в трубчатых реакторах направлен в одно измерение, допустим,

INTRODUCTION

Russia finds itself in an unprecedented sanctions environment in 2022. The issue of domestic industrial and chemical technologies has become particularly acute. The development of new methods for developing chemical technologies as well as production of apparatuses for chemical technologies are the most important tasks of the scientific and industrial complex. One of the most sought-after apparatuses in almost all industrial enterprises are chemical reactors.

MODELLING OF CHEMICAL REACTORS

The development of chemical reactor strategy will allow to design these devices individually, depending on the required functionality, at different levels of complexity and configuration.

A chemical reactor is a structure that isolates interacting chemicals from the outside environment and allows energy generated inside the reactor to be added or absorbed. The reactor technology was developed for Chemical Reaction Engineering (CRI) research [1].

Two types of ideal reactors are used to describe and evaluate performance of a chemical reactor: the Ideal Displacement Reactor (IDR) and the Ideal Stirred Continuous Reactor (ICDR) [2, 3].

Basically, a flow in tube reactors is directed in one dimension, let's say in the z direction. Then the main gradients (flow velocity, pressure, convection) will also be pointed in this direction. If convective transport completely dominates over diffusive transport, then diffusive transport can be ignored. Derivation of the equations resulting from



в направлении z . Тогда основные градиенты (скорость потока, давление, конвекция) тоже будут направлены в эту сторону. Если конвективный перенос полностью доминирует над диффузионным, то диффузионную транспортировку можно игнорировать. Составление уравнений, получившихся в результате такого предположения, и их решение привело к созданию модели РИВ. В случае если однородности концентрации и температуры, вследствие наличия больших коэффициентов дисперсии (то есть средними квадратами отклонений), можно полностью пренебречь градиентами во всех направлениях и интегрировать все уравнения глобально по всем направлениям (предполагая конвективные потоки у границ), то получается модель ИРБДМ.

Идеализированные модели реакторов дают хорошее представление происходящего внутри реактора при условии, что в реакторе нет непредусмотренных реактивов. Это позволяет оценивать эффективность работы того или иного реактора на основе определенных критериев. Такими критериями могут быть, например, сравнение производительности и сложности управления. Конечно, использование идеализированных реакторов не практично, так как стоят такие технологии дорого, и поэтому в промышленности сейчас в основном используют или упрощенные химические реакторы, или усредненные модифицированные копии идеальных реакторов:

$$\frac{dF_s}{dV} = r_s, \quad (1)$$

где $F_s = \rho_s V_s A / M_{W_s}$ (мол/с). Эта связь называется моделью реактора идеального вытеснения [4]. В этой формуле M_{W_s} молекулярная масса потока у внешних границ трубки; ρ_s – плотность смеси внутри реактора; A – площадь поперечного сечения; V_s – средняя скорость потока смеси; F_s – сила, действующая на частицы смеси для создания потока; r_s – скорость реакции.

Уравнение (2) называется моделью идеального реактора непрерывного действия с мешалкой (ИРБДМ):

$$F_s |_{out} - F_s |_{in} = R_s V, \quad (2)$$

где $F_s |_{out}$ – это сила перемешивания, действующая на частицы смеси при выходе из реактора; $F_s |_{in}$ – сила перемешивания, действующая на частицы смеси при входе в реактор; R_s – это энергия, затраченная на перемешивание; V – объем реактора [5].

Проектирование химического реактора обычно производят на основе конкретной

this assumption and their solution led to the development of the RIV model. In the case of homogeneous concentration and temperature due to large dispersion coefficients (i.e. mean squares of deviations) one can completely neglect gradients in all directions and integrate all equations globally in all directions (assuming convective flows at boundaries), then the RIF model is obtained.

Idealised reactor models give a good representation of what is going on inside the reactor, provided there are no unintended reactants in the reactor. This makes it possible to assess the performance of a reactor based on certain criteria. Such criteria could be, for example, a comparison of performance and control complexity. Of course, the use of idealised reactors is not practical, as such technology is expensive and, therefore, the industry mainly uses either simplified chemical reactors or averaged modified copies of ideal reactors:

$$\frac{dF_s}{dV} = r_s. \quad (1)$$

This relationship is called the ideal displacement reactor model [4]. In this formula M_{W_s} is the molecular mass of the flow at the outer boundaries of the tube, ρ_s is the density of the mixture inside the reactor, A is the cross sectional area, V_s is the average mixture flow rate, F_s is the force acting on the mixture particles to create the flow, r_s is the reaction rate.

Equation (2) is called the ideal continuous stirred reactor model (IFRM):

$$F_s |_{out} - F_s |_{in} = R_s V, \quad (2)$$

where $F_s |_{out}$ is mixing force on the mixture particles when leaving the reactor, $F_s |_{in}$ is the mixing force acting on the mixture particles when entering the reactor, R_s is the energy expended on mixing and V is the reactor volume [5].

The design of a chemical reactor is usually done on the basis of a specific task – to handle certain reagents and to achieve a specific end goal. According to Tavler and Sinnolt, the modelling of a reactor must be based on the chemical processes that will take place inside the reactor. This has a major impact on the final cost and complexity of controlling the reactor parts [6].

We propose a seven-step methodology for the design of chemical reactors:

the first step is to collect data regarding the chemical processes for which a given reactor will be produced, such as reaction enthalpy, phase equilibrium constants, mass and heat transfer coefficients, and reaction rate constants;



задачи – для работы с определенными реактивами и для достижения определенной конечной цели. Согласно Тавлеру и Синнолту, моделирование реактора должно происходить в зависимости от химических процессов, которые будут протекать внутри реактора. Это имеет большое влияние на конечную себестоимость и сложность управления частями реактора [6].

Мы предлагаем провести методику проектирования химических реакторов, состоящую из семи шагов:

первый шаг – сбор данных относительно химических процессов, для которых будет производиться данный реактор, таких как энтальпия реакций, константы фазового равновесия, коэффициенты переноса массы и тепла, а также постоянные скорости реакций;

второй шаг – выбор начальных условий реакций при работе реактора. Рассматриваются такие условия, как тип реакций, использование катализаторов, температурный диапазон работы реактора, давление внутри реактора и растворители;

третий шаг – подбор материалов конструкции химического реактора в зависимости от приведенных выше начальных условий работы реактора;

четвертый шаг – определение критической скорости реакций и параметров критических размеров реактора;

пятый шаг – предварительное определение габаритов, размещения узлов и стоимости реактора;

шестой шаг – экспериментальная проверка работы реактора;

седьмой шаг – оптимизация и доработка реактора на основе полученных данных на протяжении всех предыдущих шести шагов.

Также одним из важных аспектов моделирования является безопасность реактора. Одна из основных проблем безопасности – возможность температурной цепной реакции в реакторе. Например, если система охлаждения не справляется с возрастающей температурой экзотермических реакций, а рост температуры увеличивает скорость протекания реакции, то создается замкнутый круг – отрицательная обратная связь. Это может привести к неконтролируемому, лавинообразному росту температуры в реакторе, что может быть опасно и привести к летальным последствиям [7, 8].

Самой частой причиной подобных цепных реакций является неправильное соотношение вводимых реактивов, плохой контроль температурного режима или системы нагрева и охлаждения.

Следуя методике проектирования реакторов, была проработана конфигурация составляющих

the second step is to select the initial reaction conditions for reactor operation. Conditions such as type of reaction, use of catalysts, temperature range of reactor operation, pressure inside the reactor and solvents are considered;

the third step is to select the chemical reactor construction materials depending on the above mentioned initial conditions of reactor operation;

the fourth step is to determine the critical reaction rate and critical reactor size parameters;

the fifth step is preliminary determination of the reactor's dimensions, component layout and cost;

sixth step – experimental verification of reactor operation;

seventh step – optimisation and refinement of the reactor based on the data obtained throughout the previous six steps.

Also, one of the important aspects of modelling is reactor safety. One of the main safety concerns is possibility of a thermal chain reaction inside the reactor. For example, if the cooling system cannot cope with increasing temperature of exothermic reactions, and temperature rise increases the reaction rate, a vicious cycle of negative feedback is created. This can lead to an uncontrolled, avalanche-like temperature increase in the reactor, which can be dangerous and lead to fatal consequences [7, 8].

The most common cause of such chain reactions is an incorrect ratio of reagents, poor temperature control or heating and cooling system.

Following the reactor design methodology, a component configuration for an integrated RIV and IRBDM model for continuous fluid mixing was developed. The model is to be a flow-through six-stage reactor where the main mixing element is the reactor base instead of the agitator. This should allow a high degree of displacement to be maintained while maintaining a high degree of mixing in the reactor [9, 10].

The control system of the sample multistage continuously mixing reactor should allow continuous mixing of liquid chemical reagents in 6 cylindrical volumes of the reactor at once, while allowing the uninterrupted introduction of additional reagents during mixing in progress and allowing the heating of some reactor tubes and cooling of others. The first four tubes should be provided with a tubular heating system and the last two should be provided with a cooling system. Each mixing volume is connected to the next by means of flexible hydrocarbon fibre tubing.

The mixing of reagents must be ensured, in other words, even when a new reagent is added to the liquid mixture in the reactor, the mixing process must be continued if necessary. For this purpose, the reactor is configured with a reagent tap system in the reactor tube. Two taps are placed at the end of each tube,

для интегрированной модели РИВ и ИРБДМ для непрерывного смешивания жидкостей. Модель должна представлять собой проточный шести-стадийный реактор, где основным элементом смешивания выступает основание реактора вместо мешалки. Это должно позволить сохранить высокую степень вытеснения, сохраняя при этом высокую степень перемешивания в реакторе [9, 10].

Система управления образца многостадийного реактора для непрерывного смешивания жидкостей должна обеспечить непрерывную работу по смешиванию жидких химических реактивов сразу в шести цилиндрических объемах реактора, одновременно позволяя бесперебойно вводить дополнительные реактивы во время перемешивания в процессе работы, а также позволять нагревать одни трубки реактора и охлаждать другие. Первые четыре трубки должны быть снабжены трубчатой системой нагрева, а последние две – системой охлаждения. Каждый объем перемешивания соединен с последующим с помощью гибкой трубки из углеводородного волокна.

Должна быть обеспечена бесперебойность процесса перемешивания реактивов, другими словами, даже когда добавляется новый реактив в жидкую смесь в реакторе, процесс перемешивания при необходимости должен быть продолжен. Для этого в конфигурации реактора продумана крановая система залива реактивов в трубку реактора. На конце каждой трубки устанавливаются два краника: один – для соединения с другими трубками, второй – для залива реактивов. Получается шахматный порядок соединения трубок, когда трубка соединяется с одной стороны с предыдущей трубкой, а с другой стороны – с последующей трубкой вместе с краном для залива реактивов.

Термосенсорная система продумана следующим образом. У входа в трубку, рядом с соединительным углеводородным шлангом с предыдущей трубкой реактора, было предусмотрено пространство для размещения термосенсоров в трубке. Сенсоры на выбранный промежуток времени, установленный оператором, посылают информацию на ресивер обработки информации. Ресивер хранит ее определенный промежуток времени, которое по умолчанию настроено на один час и может изменяться оператором. Схема расположения термосенсоров в трубке реактора приведена на рис.3.

В ходе разработки конфигурации реактора должна решаться проблема его очищения от остаточной жидкости после окончания работы. Для решения этой проблемы были предусмотрены

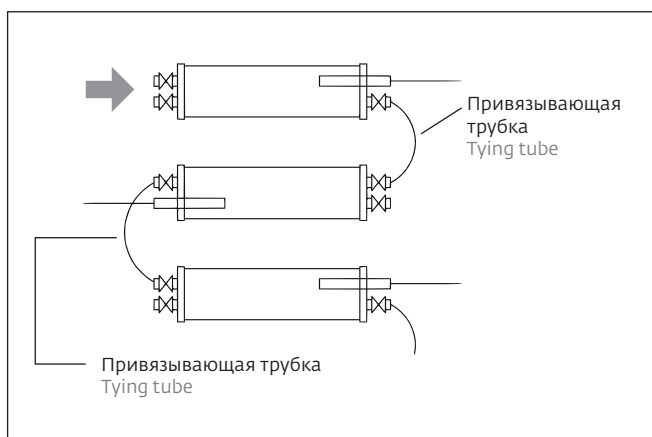


Рис.1. Схема расположения привязывающих трубок
Fig.1. Layout of tying tubes

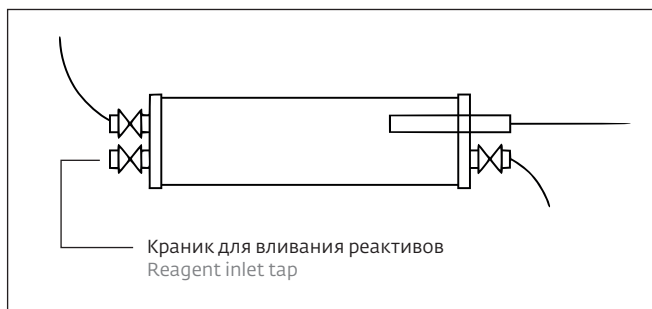


Рис.2. Схема добавления реактивов в трубку реактора
Fig.2. Diagram for adding reagents to the reactor tube

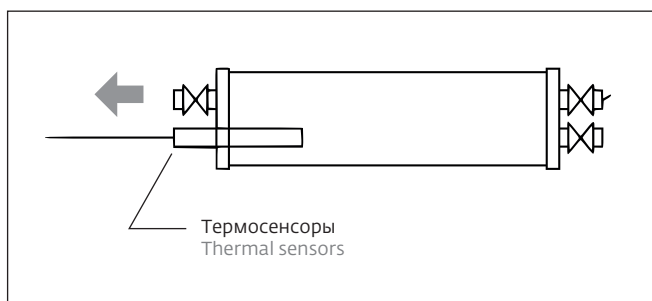


Рис.3. Схема расположения термосенсоров в трубке реактора
Fig.3. Diagram of thermosensors location in the reactor tube

one to connect to the other tubes and the other to pour in the reagents. This results in a staggered tube arrangement where the tube connects on one side to the other previous tube and on the other side to the next tube along with the reagent pour tap.

The thermosensor system is designed as follows. At the inlet of the tube, next to the hydrocarbon connection hose to the preceding reactor tube,

вкручиваемые и выкручиваемые крышки на трубках реактора. На рис.4 показаны эти крышки, а также необходимая резьба на трубках реактора, обеспечивающая герметичность соединения крышек и трубок.

Таким образом, предлагаемая конфигурация элементов многостадийного химического реактора выглядит следующим образом (рис.5). На нем показано последовательное соединение всех стадий работы реактора. На каждом объеме перемешивания должен находиться термодатчик, который будет следить за температурным режимом внутри трубки реактора. Длина объема перемешивания равна 280 мм, а его диаметр 70 мм. Сделано это для того, чтобы фактический объем цилиндра был равен 1 л. Также предусмотрена резьба для плотного прилегания крышек объемов перемешивания длиной 10 мм. Толщина стенок цилиндра равняется 3 мм для того, чтобы можно было сделать резьбу для крышек. Процесс перемешивания в основном будет достигаться за счет движущегося основания реактора. Основание должно колебаться направо и налево от пользователя реактора с контролируемой частотой.

На рис.5а – это вход термосенсора в трубку платформы для мониторинга температурного режима, б – корпус основания реактора, с – колебательная платформа реактора, d – медная магистраль системы нагрева/охлаждения, е – хомут крепления объемов перемешивания к основанию реактора, f – шина контроля колебаний основания реактора, g – кнопка включения и выключения реактора, h – трубки реактора с разработанным дизайном крышек реактора, и – углеволоконный шланг для соединения трубок реактора между собой, создающий шесть стадий смешивания в реакторе.

ВЫВОДЫ

Подводя итог вышесказанному, отметим, что разработка химического реактора начинается задолго до проектирования конфигурации составляющих химического реактора. Химический реактор разрабатывается под определенную задачу, на основе которой производится проектирование реактора. Это задает начальные, промежуточные и конечные условия работы реактора, на основе которых выбираются материалы реактора, рассчитываются критические значения таких параметров, как давление, энтальпия и т. д., и на основе этих данных производится проектирование реактора, который в дальнейшем тестируют и оптимизируют. Если реактор обладает необходимым функционалом для выполнения требуемой задачи, реактор можно использовать, если же реактор

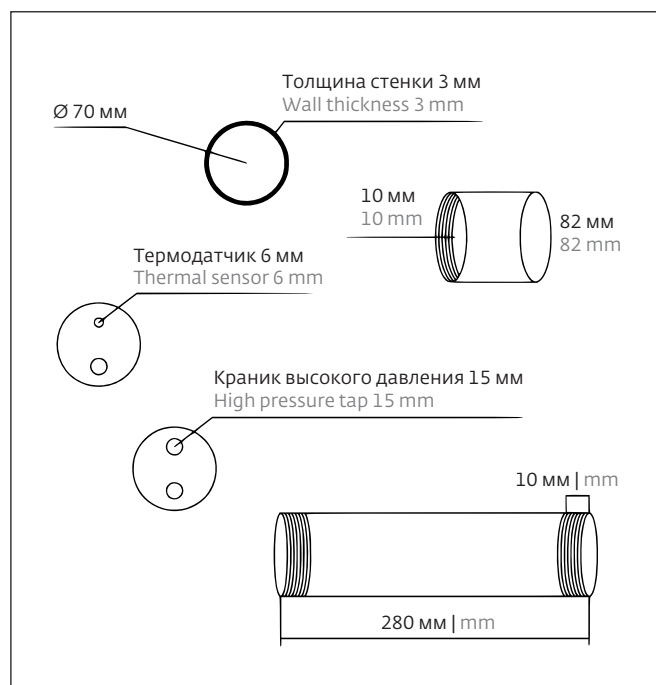


Рис.4. Крышки на трубке реактора и способ их соединения с трубками

Fig.4. Reactor tube covers and how they connected to the tubes

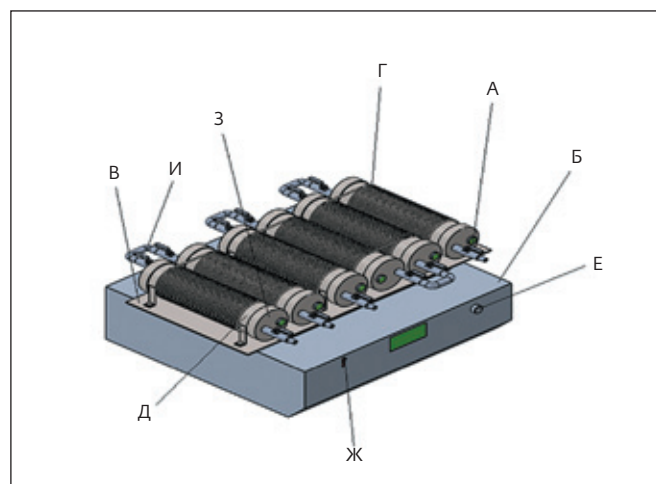


Рис.5. Оптимальная конфигурация многостадийного реактора для непрерывного смешивания жидкостей

Fig.5. Optimal multi-stage reactor configuration for continuous liquid mixing

space was provided for placing thermosensors in the tube. The sensors send information to an information processing receiver at a selected time interval set by the operator. The receiver stores this information for a specified period of time, which by default is set to one hour, and can be changed by the operator.

этого не делает, этот процесс совершенствования реактора повторяется. На основе данной методики была проработана конфигурация составляющих химического реактора для непрерывного смешивания жидкостей, а именно:

1. внешний источник перемешивания (основание реактора), который не будет мешать процессу вытеснения;
2. система нагрева и охлаждения, которая позволяет проводить экзо- и эндотермические реакции;
3. стадийность реактора и методика ее достижения;
4. температурный контроль внутри реактора;
5. процесс чистки реактора.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы статьи выражают благодарность старшему научному сотруднику НИЦКП "Нанотехнологии и Наноматериалы" Баматову Джабраилу Мусаевичу за помощь и поддержку в работе. Работа поддержана грантом РФФИ № 22-16-00092.

ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

Декларация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Баматов Д.М., Баматов И.М. Разработка проточного реактора V-star для непрерывных реакций // "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. 537(3). P. 032020.
2. Ваттс П., Вайлс С. Микрореакторы, проточные реакторы и непрерывный синтез потока // Журнал химических исследований. 2012 PP. 181-193. <https://doi.org/10.3184/174751912X13311365798808>
3. Фромент Г.Ф., Хофман Х.П.К. Дизайн каталитических неподвижных реакторов газ-твердое вещество // In: Carberry JJ, Varma A (eds) Chemical reaction and reaction engineering. Marcel Dekker Inc, New York and Basel. PP. 373-440.
4. Берд Р. Уравнения изменений и баланса макроскопической массы, импульса и энергии // Chem Eng Sci, 1957. Vol. 6. PP. 123-181.
5. Ли С. Реактор непрерывного действия с мешалкой // Reaction Engineering. PP. 95-160.

The layout of the thermosensors in the reactor tube is shown in Fig.3.

During the reactor configuration development the problem of cleaning the reactor from residual liquid after operation had to be solved. In order to solve this problem, screw-in and screw-out taps on the reactor tubes were proposed. Figure 4 shows these covers as well as the necessary threads on the reactor tubes to ensure a tight connection between the covers and tubes.

Thus, the proposed configuration of the elements of the multi-stage chemical reactor is as follows (Fig.5). It shows sequential connection of all stages of reactor operation. On each stirring volume there should be a thermal sensor, which will monitor the temperature regime inside the reactor tube. The length of the mixing volume is 280 mm and its diameter is 70 mm. This is done to ensure that the actual volume of the cylinder is 1 litre. A thread is also provided for tight fitting of the stirring volume covers with a length of 10 mm. The wall thickness of the cylinder is 3 mm so that threads can be made for the covers. The mixing process will mainly be achieved by the moving base of the reactor. The base must oscillate right and left of the reactor user at a controlled frequency.

In Fig.5 a is the thermosensor inlet of the platform tube for temperature monitoring, b is the reactor base vessel, c is the oscillating reactor platform, d is the copper line of the heating/cooling system, e is the clamp of the mixing volumes to the reactor base, f is the reactor base oscillation control bar, g is the on/off button of the reactor, h is the reactor tubes with the developed reactor cover design, i is the carbon fibre hose for connecting reactor tubes together which creates six stages of mixing in the reactor.

CONCLUSIONS

To summarise the above, the design of a chemical reactor begins long before configuring components of the chemical reactor is designed. The chemical reactor is designed for a specific task on the basis of which type of the reactor is designed. This sets the initial, intermediate and final conditions of the reactor, based on reactor materials are selected, the critical values of parameters such as pressure, enthalpy, etc. are calculated, and the reactor is then designed based on these data. The reactor is then tested and optimized. If the reactor has necessary functionality to perform the required task, the reactor can be used, but if the reactor does not, this process of reactor improvement is repeated. Based on this methodology, configuration of the components of a chemical reactor for continuous mixing of liquids has been worked out, namely:



6. **Товлер Г., Синнолт Р.** Моделирование химической инженерии: принципы, практика и экономика сборки и процесс моделирования // 2nd edition, Boston: Elsevier, 2013.
 7. **Межидов В.Х., Дадашев Р.Х., Гацаев З.Ш., Галанина Н.А.** Физико-химические процессы при синерезисе гидрогеля бентонита // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2022. Т. 18, № 3(29). С. 82–89.
 8. **Минцаев М.Ш., Алисултанов Э.Д., Усамов И.Р.** Технологии машинного обучения в современной среде // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. 2022. Т. 18, № 3(29). С. 71–78.
 9. **Керимов И.М., Курашева О.А.** Тяжелые металлы в ледниках и речных водах бассейна реки Черек Безенгийский при интенсивной деградации оледенения // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2022. Т. 7, № 3(29). С. 32–37.
 10. **Баматов И.М., Баматов Д.М., Арсанов М.М.** Использование удобрений медленного высвобождения вместо био-органических натуральных удобрений на подвое плодовой косточки // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677(4). P. 042027.
1. external mixing source (reactor base) which will not interfere with the displacement process;
 2. heating and cooling system that allows exo- and endothermic reactions;
 3. reactor staging and how to achieve it;
 4. temperature control inside the reactor;
 5. reactor cleaning process.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Djabrail Musaevich Bamatov, a senior researcher of the Research and Development Centre for Nanotechnologies and Nanomaterials, for his help and support in this work. The Russian Science Foundation, grant No. 22-16-00092, supported this study.

PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU.

Declaration of Competing Interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.



ПЕТЕРБУРГСКАЯ
ТЕХНИЧЕСКАЯ
ЯРМАРКА

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:

- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНГРЕСС
- КОНФЕРЕНЦИЯ «КРЕПЕЖ. КАЧЕСТВО И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»
- БИРЖА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ



18–20

АПРЕЛЯ
2023

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»
Петербургское шоссе, 64

+7 965 772 7759 | a.ilina@restec.ru | +7 929 106 2738 | v.zudina@restec.ru | ptfair.ru