

**АНАЛИЗ ГИДРОДИНАМИКИ В ЭЛЕКТРОДЕГИДРАТОРАХ
С ПОМОЩЬЮ СВОБОДНЫХ ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЕГО МОДЕРНИЗАЦИИ
С ЦЕЛЬЮ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОЦЕССА
КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ**

Ф. А. Зогаков

**ANALYSIS OF THE HYDRODYNAMICS IN THE EDG
USING THE FREE MODELLING PROGRAM FOR FURTHER
MODERNIZATION WITH THE AIM TO PREVENT
SHORT-CIRCUIT OF THE ELECTRODES**

F. A. Zogakov

Аннотация. *Предмет и цель работы.* Целью работы является выбор и конструирование электродегидратора электрообессоливающей установки, моделирование гидродинамики потоков с использованием программных платформ Salome, Code Saturne, Elmer модернизации для предотвращения процесса короткого замыкания электродов. *Результаты и выводы.* В работе представлена разработка определенной конструкции электродегидратора. Результаты проведенного исследования могут быть использованы в нефтяной и газоперерабатывающей промышленности. С помощью вышеназванных программных продуктов были проведены необходимые процессы моделирования гидравлической динамики в электродегидраторах для оптимальной модернизации с целью предотвращения процесса короткого замыкания электродов.

Ключевые слова: свободное программное обеспечение, моделирование, имитирование, гидродинамика, salome, code saturne.

Abstract. *Subject and goals.* The aim of the work is the selection and design of electric dehydrator desalting plant, simulation of flow hydrodynamics using software platforms Salome, Code Saturn, Elmer modernization to prevent the process of short-circuit electrodes. *Results and conclusions.* The paper presents the development of a certain design of the electric dehydrator. The results of the study can be used in the oil and gas processing industry. With the help of the above-mentioned software products, the necessary processes of modeling of the hydraulic dynamics in electric hydrators were carried out for optimal modernization in order to prevent the process of short-circuit of the electrodes.

Keywords: free software, modeling, simulation, hydrodynamics, salome, code saturne.

Способы обезвоживания и обессоливания нефти

Механизм разрушения нефтяных эмульсий состоит из нескольких стадий: столкновение глобул (частиц) воды; слияние глобул в более крупные капли; выпадение капель.

Для того чтобы разрушить эмульсии, в промышленной практике применяются следующие процессы: механические – фильтрование, обработка ультразвуком; термические – подогрев и отстаивание нефти от воды, промывка горячей водой; электрические – обработка в электрическом поле пере-

менного и постоянного тока; химические – обработка различными деэмульгаторами.

В настоящее время самым эффективным способом разрушения эмульсий является комбинирование данных методов. На рис. 1 представлен наиболее простой способ удаления воды из нефти на промыслах – термохимическое обезвоживание при атмосферном давлении.

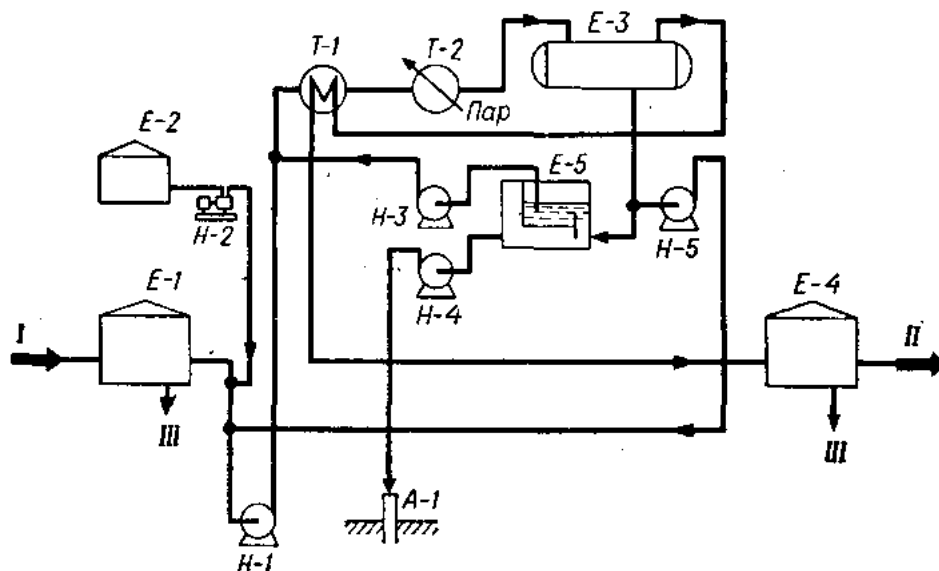


Рис. 1. Схема установки термохимического обезвоживания нефти:
I – сырая нефть; II – обезвоженная нефть; III – вода

Сырую нефть забирают из E-1 насосом H-1, смешивают с деэмульгатором, подаваемым из E-2, прокачивают через теплообменник T-1 и паровой подогреватель T-2 в термоотстойник E-3. В термоотстойнике под давлением 15 атмосфер нефть находится в течение 1–3 ч. Обезвоженная нефть через теплообменник T-1 направляется в резервуар E-4. В резервуаре нефть дополнительно отделяется от воды. Отстоявшаяся вода сбрасывается в нефтеловушку E-5, а затем закачивается в скважину A-1. Часть сточных вод, удаленных из термоотстойника, возвращается на прием сырьевого насоса с целью повторного использования содержащегося в сточной воде деэмульгатора. Нефть из ловушки вновь подается на обезвоживание.

Обессоливание и обезвоживание ведутся при температурах 50–100 °С. При более высоких температурах процессы обессоливания и обезвоживания проводятся под повышенным давлением (поскольку необходимо сохранить однофазное состояние эмульсии), для чего надо увеличивать толщину стенок оборудования, что, в свою очередь, приводит к увеличению металлоемкости установок.

Электрическое обезвоживание и обессоливание нефти особенно широко распространено в заводской практике, реже применяется на нефтепромыслах. На эффективность процесса значительно влияют вязкость и плотность эмульсии, дисперсность, содержание воды, электропроводность, а также прочность адсорбированных оболочек. Однако основным фактором является

напряженность электрического поля. В настоящее время установки в основном работают на токе промышленной частоты (50 Гц). Напряжение на электродах колеблется от 10 000 до 45 000 В.

Главным аппаратом установки ЭЛОУ является электродегидратор – емкость, снабженная электродами, к которым подводится переменный ток высокого напряжения. На российских установках ЭЛОУ эксплуатируются три типа электродегидраторов:

- вертикальные, объемом 30 м³, на основе которых строились отдельно стоящие типовые одно- и двухступенчатые электрообессоливающие установки, потребляющие значительные количества водяного пара для подогрева нефти;

- шаровые ЭДШ-600, объемом 600 м³, вошедшие в состав установок, как правило, совмещенных с установками АТ и АВТ, и на которых сырая нефть нагревается за счет тепла выводимых с установки продуктов перегонки;

- горизонтальные, объемом 100, 160 и 200 м³, в составе блоков ЭЛОУ, встроенных в установки АТ и АВТ.

Пути совершенствования электродегидраторов

Основные направления совершенствования электродегидраторов:

1. Модернизации электродной системы и системы ввода сырья;
2. Использование современных взрывозащищенных систем электропитания. Новые источники питания высокоэкономичные, они позволяют снизить расход потребляемой электродегидратором электроэнергии в 3–3,5 раза по сравнению с устаревшими трансформаторами;

3. Для устойчивой и эффективной работы электродегидратора необходимо четко поддерживать в нем определенный уровень раздела фаз нефть-вода. Это обеспечивается непрерывным сбросом отстоявшейся в электродегидраторе воды с помощью различных средств автоматизации. Анализ применяющихся на ЭЛОУ регуляторов раздела фаз показал, что самым надежным, работоспособным, позволяющим получать достоверную информацию о разделе фаз в электродегидраторе и оперативно вмешиваться, является комплекс фирмы «АГАР» (США), основанный на измерении содержания воды в различных зонах электродегидратора с помощью микроволновых датчиков (антенн).

Следует отметить, что широко применяющиеся на блоках ЭЛОУ российских НПЗ Горизонтальные электродегидраторы являются разработками ОАО «ВНИИНефтемаш», которые соответствовали мировому техническому уровню. К настоящему времени российские электродегидраторы претерпели лишь незначительную конструктивную модернизацию. В то же время за рубежом такие ведущие в мире фирмы, как «Petresco» (США) и «Natco» (Канада), разработали и внедрили целый ряд электродегидраторов, реализующих принципиально новые технические решения.

Фирма «Petresco» поставляет на НПЗ эффективные и производительные электродегидраторы с системой двойного (горизонтального) распределения водонефтяной эмульсии.

Фирмой «Natco» разработан и широко внедряется в мире современный электродегидратор, реализующий принципиально новую технологию ЕДД

(электродинамический электродегидратор двойной полярности), в котором осуществляется двухступенчатая промывка нефти в одном аппарате.

Хорошая степень обессоливания достигается за счет ряда технических и технологических решений:

- ввод и электрическое диспергирование пресной воды непосредственно в межэлектродном пространстве;
- применение системы вертикальных пластинчатых сплошных электродов особой конструкции;
- комбинация переменного и постоянного электрических полей.

Однако данные электродегидраторы имеют высокую цену, предъявляют крайне жесткие требования к технологическому режиму (в частности, колебание расхода жидкости не выше 5 %), качеству пресной воды и имеют опыт успешной эксплуатации только на нефтеперерабатывающих заводах, перерабатывающих нефть, существенно более легкую, чем большинство российских.

Перспективы развития электродегидраторов

Принципиального повышения эффективности и экономичности в деэмульсации нефтей можно добиться, базируясь на подходе, предусматривающем разделение противоречащих друг другу в традиционных электродегидраторах технологических операций: укрупнения капель эмульгированной воды и их гравитационного отстоя. Осуществление их в разных аппаратах в оптимальных для каждого процесса режимах без взаимной конкуренции.

При этом процесс ввода в нефть промывочной воды и ее диспергирование электрическим полем до оптимальных размеров осуществляются в компактном и экономичном электропульверизирующем аппарате. Укрупнение капель эмульгированной воды происходит в компактных и экономичных электрокоалесцирующих аппаратах, и только затем нефтяная эмульсия поступает для полного разделения фаз в отстойную аппаратуру. При необходимости после электропульверизирующего аппарата устанавливается электро-массообменный аппарат, интенсифицирующий смешение пресной воды с остаточной пластовой.

Реализация такого подхода и уже имеющиеся в наличии базовые технические и технологические решения обеспечат следующие несомненные преимущества:

1. Гибкость системы, обеспечиваемая возможностью компоновки компактных аппаратов в блоки.
2. Временное отключение одного (или части аппаратов) в блоке для ремонта или обслуживания не приводит к полному срыву режима во всей технологической цепочке.
3. Ввиду небольшой площади электродов резко снижаются необходимая мощность, габариты источников питания, нерациональный расход электроэнергии.
4. Компактность аппаратов и, как следствие, небольшие межэлектродные расстояния позволяют использовать источники питания с пониженными значениями выходного напряжения. Результат – повышение безопасности эксплуатации, менее жесткие требования к проходным изоляторам, более высокая надежность как самих источников, так и высоковольтных кабелей.

5. Обеспечивается 100 %-й охват эмульсии воздействием электрического поля.

6. Простота изготовления корпусов, электродных систем, их низкая металлоемкость.

Электрокоалесцирующий аппарат предназначен для разрушения водонефтяных эмульсий с различными физико-химическими свойствами при глубоком обезвоживании нефти на нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятиях. Действие аппарата основано на разделении потока обрабатываемой водонефтяной эмульсии на элементарные струйки малого диаметра и обработке ее в режиме с понижающейся по мере укрупнения капель воды напряженностью электрического поля и скоростью движения эмульсии.

Наличие между электродами перфорированного диэлектрического экрана исключает возможность короткого замыкания электрода. Расчленением потока водонефтяной эмульсии на большое число элементарных струек достигается высокой однородностью обработки. Отсутствие короткого замыкания электродов обеспечивает глубокую деэмульсацию нефти за счет поддержания высокой напряженности поля в аппарате и эффективного управления процессом. Обработка эмульсии в режиме с плавным снижением напряженности поля и скорости потока по сечению аппарата позволяет добиться максимального укрупнения капель дисперсной фазы эмульсии.

Применение данных аппаратов для глубокого обезвоживания нефти позволяет по сравнению с электродегидраторами:

- в 1,5 раза снизить температуру обработки нефти;
- в 2 раза уменьшить расход деэмульгатора и промывочной воды;
- в 3 раза снизить затраты электроэнергии и время отстоя эмульсии.

Дооборудование маточников горизонтальных электродегидраторов встроенными струйными смесителями

Одним из мероприятий по повышению эффективности горизонтальных электродегидраторов является дооборудование их маточников встроенными струйными смесителями. Известно, что показатели процесса обессоливания нефти в значительной мере зависят от условий взаимодействия нефти с промывочной водой, т.е. от организации процесса смешения.

Одним из важнейших параметров, определяющих эффективность смешения, является суммарная поверхность капель воды, находящихся в единице объема эмульсии. Значение этой поверхности определяется содержанием воды в эмульсии и размером капель этой воды. Поскольку основное количество воды в эмульсии – это поданная в нефть промывочная вода, управлять ее дисперсным составом можно путем регулирования перепада давления на диспергирующем устройстве узла ввода воды. Однако на практике эти возможности ограничены.

Известным приемом, обеспечивающим увеличение содержания воды в эмульсии, является рециркуляция воды внутри каждой ступени обессоливания. Однако рециркуляция воды с помощью насосов усложняет эксплуатацию и повышает энергозатраты. В случае использования для рециркуляции инжекторов возрастает давление в системе, что приводит, как правило, к нежелательным последствиям. Рециркуляция больших количеств воды невозможна еще и потому, что при этом сокращается время ее отстоя и возрастает

содержание нефтепродуктов в стоках ЭЛОУ. С учетом этих факторов количество рециркулируемой внутри каждой ступени воды обычно не превышает 2–2,5 % от расхода нефти.

С целью обеспечения максимальной удельной межфазной поверхности и наилучших условий для смешения нефти с водой ВНИИнефтемашем было предложено дооборудование электродегидраторов встроенными струйными смесителями (ВСС). Один из вариантов горизонтального электродегидратора с встроенными струйными смесителями (ЭВСС) показан на рис. 2. Под продольным коллектором 1 размещены с шагом 600–800 мм поперечные отводы 2, на штуцерах 3 которых установлены сопла 4 с выфрезерованными в их верхней части пазами 7 и соосные им смесительные патрубки 5 с закрепленными над ними с помощью ребер 6 перфорированными отражателями 8. Площадь перфорации отражателей составляет 5–12,5 % площади выходного сечения смесительного патрубка в зависимости от конструкции ЭВСС, шага между смесителями и других факторов [5]. В ЭВСС нефть с поданной в нее перед электродегидратором промывочной водой истекает через сопла и инжектирует при этом внутрь смесительных патрубков воду из прилегающего к соплу объема (уровень воды в ЭВСС необходимо всегда поддерживать выше уровня сопла). Конструкция ВСС рассчитана так, что количество инжектируемой воды составляет 1–1,5 количества нефти, и внутри смесительных патрубков образуется неустойчивая водонефтяная эмульсия с максимальной межфазной поверхностью. При движении этой эмульсии турбулентным потоком внутри смесительных патрубков интенсивно идет процесс коалесценции содержащихся в нефти мелких капель высокоминерализованной пластовой воды с каплями промывочной воды и воды, инжектируемой внутрь смесителей. Интенсивность процесса коалесценции в этом случае намного выше, чем в обычных выносных смесителях, так как количество воды, приходящейся на один объем нефти, в ВСС в десятки раз больше.

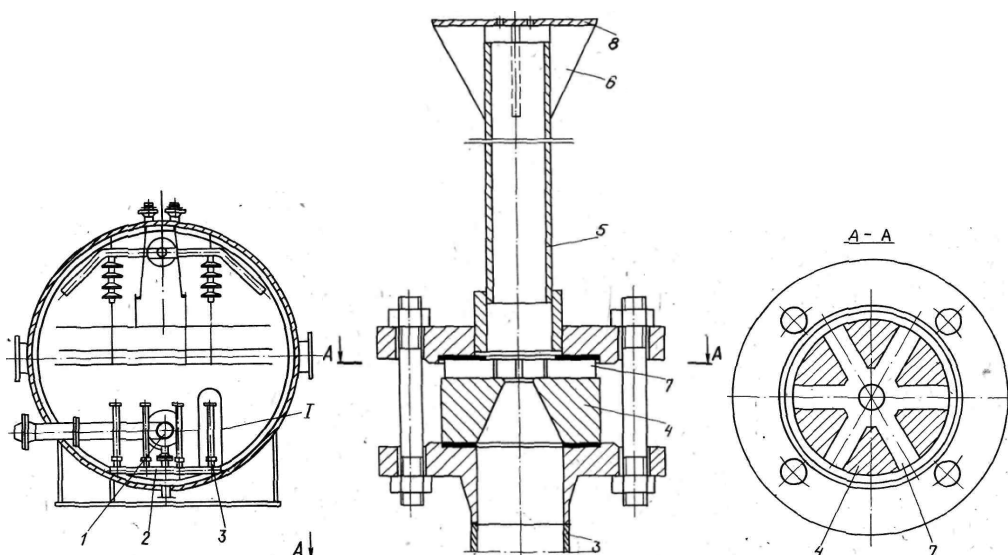


Рис. 2. Схема дооборудования горизонтального электродегидратора вертикальными струйными смесителями (1): 1 – продольный коллектор; 2 – поперечный коллектор; 3 – штуцер; 4 – сопло; 5 – смесительный патрубок; 6 – ребро; 7 – паз; 8 – отражатель

После выхода из-под отражателя эмульсия расслаивается: нефть поднимается вверх, обезвоживаясь при этом (особенно при прохождении через межэлектродное пространство), а вода опускается вниз и циркулирует через струйные смесители. Избыток воды постоянно дренируется, как и во всех электродегидраторах. Необходимо отметить, что скорость расслоения выходящей из ВСС высокообводненной эмульсии намного выше, чем малообводненной эмульсии в обычных электродегидраторах, поэтому уровень раздела вода – нефть в ВСС более четкий. Вследствие высокой интенсивности массообмена в ВСС в сплошную нефтяную фазу переходят и диспергированные в воде частицы нефтепродуктов, поэтому их содержание в дренируемой воде невелико. Высокая эффективность ЭВСС обусловлена легкостью достижения большого коэффициента инжекции и малым гидравлическим сопротивлением ВСС при его правильном конструировании.

Важным показателем эффективности работы электродегидратора является содержание солей в дренажной воде. Содержание солей в дренажной воде электродегидратора с ВСС почти в 1,5 раза выше. Поскольку степень обезвоживания нефти в модернизированном аппарате несколько выше, чем в контрольном, можно сделать вывод, что в аппарате с ВСС вода гораздо эффективнее извлекает соли из нефти.

Бесплатные программы моделирования

AcuSolve – модуль представляется многофункциональным и мощным инструментом для реализации любых задач вычислительной гидродинамики и имеет в себе весь спектр разных физических моделей. Имитирование применительно к некоторому числу потоков, теплового обмена, турбулентности и неньютоновских материалов легко воспроизводится благодаря робастному и масштабируемому решателю. В конечном итоге пользователю выдается верифицированное прецизионно точное решение на полностью неструктурированных стеках и тратится меньше времени на построение сеток и больше на исследование самих моделей [2].

ANSYS CFX – CFD – набор общего использования, применяющийся для решения самых разнообразных задач газо- и гидродинамики. Его базой будет быстрый, надежный и эффективно распараллеливаемый решатель, располагающий огромным пакетом моделей, описывающих разные явления, сопутствующие течениям жидкостей и газов [3];

ANSYS Fluent является наиболее мощным инструментарием для расчетной гидравлической динамики, предоставляющий возможность ускорить и углубить процесс проектировки и увеличения продуктивности любой продукции, чья работа каким-либо образом связана с текучими жидкостями и газами. ANSYS Fluent включает огромный пакет тщательно проверенных моделей, гарантирующих моментальное получение верных результатов для самых различных задач гидро- и газовой динамики. Fluent предоставляет огромный пакет моделей для описания течений, турбулентности, теплового переноса, химических реакций, допускающих имитировать огромный спектр процессов: от обтекания крыла самолета до горения в топке котла ТЭЦ, от пузырькового течения в барботажной колонне до волновой нагрузки на нефтяную платформу, от кровотока в артерии до осаждения паров металла при производстве полупроводников, от вентиляции дата-центра до течения в очистных сооружениях [4].

CFX – программный пакет, созданный для расчета задач аэро- и гидравлической динамики [5].

FLUENT – программный пакет, созданный для решения задач механики жидкостей и газов.

STAR-CD – универсальный программный пакет, созданный для выполнения расчетов в сфере механики жидкости и газа [5].

FlowVision имитирует трехмерные стационарные/нестационарные слабосжимаемые/несжимаемые потоки жидкости в разных технических программных продуктах. Применение разных моделей турбулентности и адапционной вычислительной сетки допускает имитировать многообразные движения жидкости, в том числе течения с сильной закруткой и с горением.

FLOW-3D – это CFD набор универсального направления, умеющий имитировать различные задачи течения жидкости и/или газа [5].

GDT (GasDynamicsTool) – это программное обеспечение, спроектированное для расчетного имитирования газодинамических процессов в широком круге граничных и начальных условий [5].

Salome – платформа для реализации проектных расчетов [6].

Code Saturne – программный продукт, который распределяется под лицензией GNU (Open Source) для расчета уравнений Навье – Стокса двухмерного, двухмерного осесимметричного и трехмерного потоков, статичного или динамичного потоков, ламинарного или турбулентного потоков [7].

Рассмотрим более подробно программное обеспечение Salome и Code Saturne.

Программная платформа Salome

Интерфейс платформы Salome представлен на рис. 3.

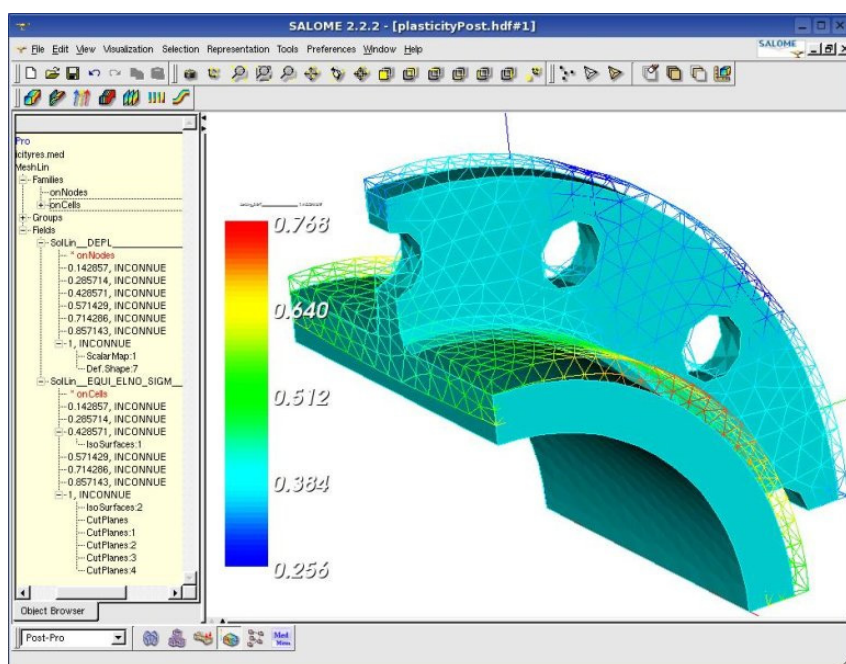


Рис. 3. Интерфейс платформы Salome

Данный программный пакет включает следующие модули [6]: Kernel – программное обеспечение; Geometry – блок для формирования, визуализации и изменения CAD моделей; Mesh – блок для формирования расчетных сеток; Post-Pro – блок, предоставляющий инструменты визуализации результата, полученного в результате расчета; YACS – блок формирования и выполнения схем распределенных вычислений.

Также присутствует возможность интегрировать такие свободные проекты, как Code–Saturne, Code–Aster, ParaViS, OpenFOAM [6].

Все компоненты программного обеспечения (Пост-Про, Геометрия, Сетка...), интегрированные в платформу Salome, имеют предопределенный интерфейс. Каждый компонент обеспечивает данными для исследования Salome в форме связей (сохраненных в исследовании) к определенным данным, созданным и сохраненным в компоненте.

Программная платформа Code Saturne

Интерфейс платформы Code Saturne представлен на рис. 4.

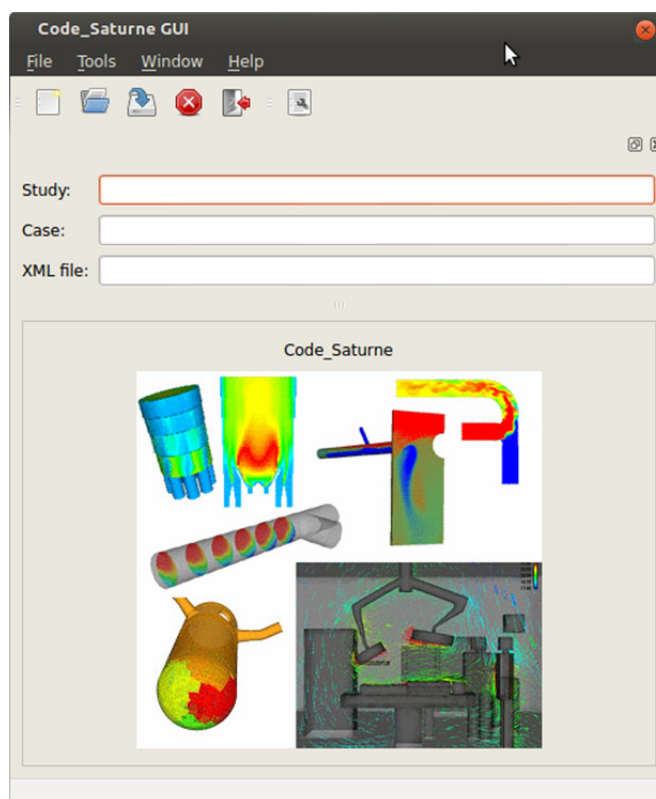


Рис. 4. Интерфейс платформы Code Saturne

Интерфейс Code Saturne интуитивно понятен. В левой части главного окна содержится список категорий. Пользователю требуется указать начальные данные в интересующих его категориях. Существуют следующие категории [7]: Identity and paths – это определение директорий, требуемых для расчетов (STUDY, CASE, DATA, SRC, SCRIPTS, MESH); Calculation

environment – это определение файла с расчетной сеткой (можно использовать, например, экспортированный из Salome .med файл), запуск препроцессора для анализа сетки (используется для получения информации о граничных поверхностях); Thermophysical models – это физическая модель, модель турбулентности, тепловая модель; Additional scalars – это определение скалярных величин и физических характеристик; Physical properties – это указание давления, характеристик потока, гравитации. Также тут возможно описывать собственные законы плотности, вязкости, теплоемкости и теплопроводности; Volume conditions – это инициализация переменных и определение зон потери напора; Boundary conditions – это определение граничных условий для каждой переменной; Numerical parameters – это количество и тип шагов по времени, дополнительные параметры для численного решения уравнений; Calculation control – это параметры, касающиеся отслеживания изменения переменных. Также в этом разделе указывается тип выходного файла; Calculation management – это управление процессом расчета.

Заключение

В статье рассмотрено свободное программное обеспечение для моделирования гидродинамики.

Подобных свободных программ с бесплатной лицензией существует очень много, допустим, это AcuSolve, ANSYS CFX, ANSYS Fluent, CFX, FLUENT, STAR-CD, FlowVision, FLOW-3D, GDT (GasDynamicsTool), Salome и Code Saturne.

Благодаря программным продуктам Salome и Code Saturne были проведены необходимые процессы моделирования гидравлической динамики в электродегидраторах для оптимальной модернизации с целью предотвращения процесса короткого замыкания электродов. Было разработано несколько подобных конструкций, которые подробно рассмотрены в выпускной квалификационной работе.

Библиографический список

1. Что такое свободное ПО? – URL: <http://www.4stud.info/oss/lecture1.html>
2. Ищем сокровища в океане информации. – URL: <https://zapdoc.site/ishem-sokrovisha-v-okeane-informacii.html>
3. Вычислительная гидродинамика в ANSYS CFX. – URL: <https://www.cadfecis.ru/products/ansys/fluids/cfx/>
4. Вычислительная гидродинамика в ANSYS Fluent. – URL: <https://www.cadfecis.ru/products/ansys/fluids/fluent/>
5. Задачи аэро- и гидродинамики, механики жидкостей и газов, горения и детонации. – URL: <https://parallel.ru/tech/engineering/pacet2.html>
6. SALOME. – URL: <https://help.ubuntu.ru/wiki/salome>
7. Code_Saturne. – URL: https://help.ubuntu.ru/wiki/code_saturne

References

1. *Chto takoe svobodnoe PO?* [What is free software?]. Available at: <http://www.4stud.info/oss/lecture1.html> [In Russian]
2. *Ishchem sokrovishcha v okeane informatsii* [Looking for treasures in the ocean of information]. Available at: <https://zapdoc.site/ishem-sokrovisha-v-okeane-informacii.html> [In Russian]

3. *Vychislitel'naya gidrodinamika v ANSYS CFX* [Computational fluid dynamics in ANSYS CFX]. Available at: <https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/fluids/cfx/> [In Russian]
4. *Vychislitel'naya gidrodinamika v ANSYS Fluent* [Computational fluid dynamics in ANSYS Fluent]. Available at: <https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/fluids/fluent/> [In Russian]
5. *Zadachi aero- i gidrodinamiki, mekhaniki zhidkostey i gazov, goreniya i detonatsii* [Problems of Aero-and hydrodynamics, mechanics of liquids and gases, combustion and detonation Gorenje]. Available at: <https://parallel.ru/tech/engineering/pacet2.html> [In Russian]
6. *SALOME*. Available at: <https://help.ubuntu.ru/wiki/salome>
7. *Code_Saturne*. Available at: https://help.ubuntu.ru/wiki/code_saturne

Зогаков Фарход Абдулмаджидович
магистрант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: Big_bang1993@mail.ru

Zogakov Farkhod Abdulmadzhidovich
master degree student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Образец цитирования:

Зогаков, Ф. А. Анализ гидродинамики в электродегидрататорах с помощью свободных программ моделирования для последующей его модернизации с целью предотвращения процесса короткого замыкания электродов / Ф. А. Зогаков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2019. – № 1-2 (29-30). – С. 108–118.