

## Исследование работы скруббера по очистке колошникового газа после доменной печи

Т.В. Михрина, В.А. Горбунов

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

Скруббер является уникальным нестандартным оборудованием, предназначенным для очистки колошникового газа, опасного для жизни человека. Вместе с тем он является энергоемким оборудованием, требующим значительных затрат воды и энергии. При проведении физического эксперимента по исследованию скруббера возникают трудности, так как газовая очистка доменной печи работает непрерывно. Методы неразрушающего контроля не всегда можно использовать применительно к скрубберу.

Целями моделирования скруббера являются:

1. Определение области перекрытия факелами воды, образованными эвольвентными форсунками, канала прохождения колошникового газа внутри скруббера в зависимости от расхода воды через форсунки.

2. Исследование изменения поля скоростей газового потока внутри скруббера после его отражения от зеркала воды в нижней части скруббера.

В верхней части скруббера размещено три пояса орошения с числом форсунок 36, создающих равномерный поток мелко диспергированных капель, движущихся под действием силы тяжести вниз. В доменных скрубберах чаще всего применяют эвольвентные форсунки с диаметром отверстия 12–62,5 мм, для которых не требуется очень чистая вода. Они характеризуются большой производительностью (до 20000 кг/ч). Большой диаметр выходного отверстия обеспечивает высокую производительность и надежность работы на оборотной воде. В каждом ярусе устанавливают 12 форсунок, размещая их так, чтобы все сечение было равномерно перекрыто диспергированной водой в количестве, соответствующем заданному удельному расходу воды. Нижняя часть скруббера, оканчивающаяся конусом, заполнена водой, уровень которой поддерживается постоянным (7,4 м). Подводимый запыленный газ направляют на зеркало воды для осаждения наиболее крупных частиц пыли под углом 45 градусов к горизонту, после чего, распределяясь по всему сечению скруббера, газ движется вверх навстречу потоку капель воды, образованных факелами эвольвентных форсунок. В процессе промывки капли жидкости захватывают частицы пыли и коагулируют. Образовавшийся шлам собирается в нижней части скруббера, откуда непрерывно удаляется промывочной водой. Затем газ направляется из скруббера на следующую ступень очистки [1].

В качестве программного комплекса для моделирования работы форсуночного скруббера выбран пакет FlowVision [2].

В скруббере производится очистка колошникового газа с температурой 138 °С, избыточным давлением 152 кПа и расходом 105,13 м<sup>3</sup>/с. Это реальные условия на металлургическом предприятии. При решении задачи принимаются следующие допущения:

- режим работы скруббера стационарный;
- теплообмен с окружающей средой отсутствует;
- нет стенок и нет трения на стенках скруббера, т.к. в демо-версии мало узлов сетки;
- жидкость, находящаяся в нижней части скруббера, неподвижная.

Поскольку при моделировании работы скруббера используется демо-версия программного комплекса FlowVision с ограниченным количеством узлов сетки (15000), построение полной модели скруббера невозможно, поэтому производим локальные исследования.

### Моделирование работы эвольвентной форсунки

Скруббер изготовлен на Иркутском заводе тяжелого машиностроения и предназначен для очистки колошникового газа от частиц пыли. Степень очистки газа во многом зависит от степени перекрытия факелами воды, образованными эвольвентными форсунками, канала прохождения колошникового газа внутри скруббера. Эвольвентные форсунки установлены в три яруса, расстояние между которыми 4,2 м, расстояние от зеркала воды до нижнего яруса – 16,8 м. В верхнем ярусе факелы форсунок направлены вверх, а во втором и в третьем – вниз. Диаметр отверстия эвольвентной форсунки составляет 62,5 мм. Целью исследования является получение расходной характеристики эвольвентной форсунки, зависимости диаметра факела разбрызгивания от расхода воды. Для определения влияния факелов воды при взаимодействии факелов разных ярусов между собой находим координаты точки максимальной ширины факела по высоте скруббера.

В системе автоматизированного проектирования SolidWorks [3] создается геометрическая модель форсунки, которая помещается в куб размером 2,12x2,12x2,12 м. Размеры куба выбираются из чертежа скруббера с учетом влияния рядом стоящих форсунок друг на друга. Затем производится ее импортное включение в программный комплекс FlowVision. Далее задается математическая модель движения воды и газа как несжимаемая жидкость. Модель несжимаемой жидкости включает: уравнения Навье-Стокса (закон сохранения импульса), уравнение неразрывности (закон сохранения массы жидкости); закон сохранения энергии; уравнение диффузионного переноса скалярной величины (закон сохранения массы) и уравнения к-ε модели турбулентности.

Затем задаются и расставляются граничные условия. На входе воды задаются температура и нормальная скорость, на выходе из форсунки – с внутренней стороны тип границы «свободный выход», с наружной стороны – вход воды. Форсунка помещена в тонкостенный куб, через который снизу вверх проходит поток газа. На входе газа задаются температура и нормальная скорость, на выходе – тип границы «свободный выход». Далее вводятся параметры метода расчета и метода численного моделирования. После чего генерируется расчетная сетка. На рис. 1 представлено поле скоростей при условиях на металлургическом предприятии (расход воды на форсунку 0,0151 м<sup>3</sup>/с), результаты исследования приведены в табл. 1. Зависимость максимального диаметра факела разбрызгивания от расхода воды на эвольвентную форсунку представлена на рис. 2.

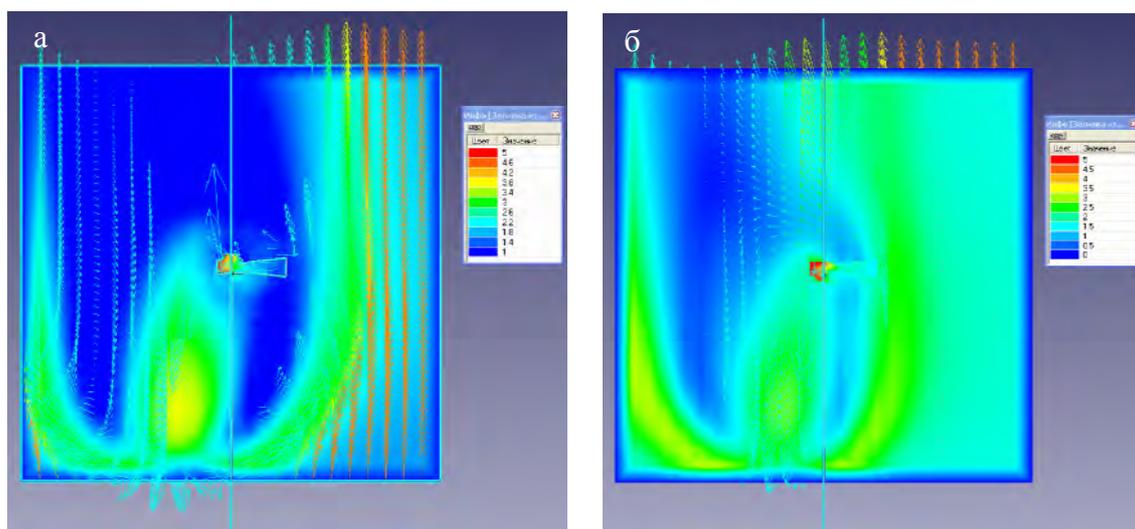


Рис. 1. Поле скоростей при условиях на металлургическом предприятии (расход воды на форсунку 0,0151 м<sup>3</sup>/с):

а – форсунка направлена вверх; б – форсунка направлена вниз

Таблица 1. Результаты исследования работы эвольвентной форсунки

Наименование	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Расход воды на форсунку, $V_{в.ф}$ , м <sup>3</sup> /с	0,00278	0,00556	0,00833	0,0111	0,0139	0,0151	0,0167	0,0195	0,0222	0,0250	0,0278
Эвольвентная форсунка направлена вверх (верхний ярус)											
Максимальный диаметр факела разбрызгивания воды, $d_{в.верх}$ , мм	265	471	530	589	606	606	667	703	727	788	848
Расстояние от горизонтальной оси форсунки до точки максимальной ширины факела, $h_{гор.верх}$ , мм	477	589	648	671	672	672	485	485	485	485	485
Расстояние от вертикальной оси форсунки до точки максимальной ширины факела, $h_{верт.верх}$ , мм	-	влево (к центру скруббера) на 235,56	влево на 294,44	влево на 253,33	влево на 272,57	влево на 272,57	влево на 212,00	влево на 151,43	влево на 151,43	влево на 90,86	-
Эвольвентная форсунка направлена вниз (второй и третий ярус)											
Максимальный диаметр факела разбрызгивания воды, $d_{в.вниз}$ , мм	295	506	530	565	589	589	624	683	707	742	766
Расстояние от горизонтальной оси форсунки до точки максимальной ширины факела, $h_{гор.вниз}$ , мм	530	565	589	589	589	565	589	530	507	483	471
Расстояние от горизонтальной оси форсунки до точки максимальной ширины факела, $h_{верт.вниз}$ , мм	-	влево (к центру скруббера) на 58,89	влево на 212,00	влево на 212,00	влево на 235,56	влево на 235,56	влево на 353,33	-	-	-	влево на 212,00

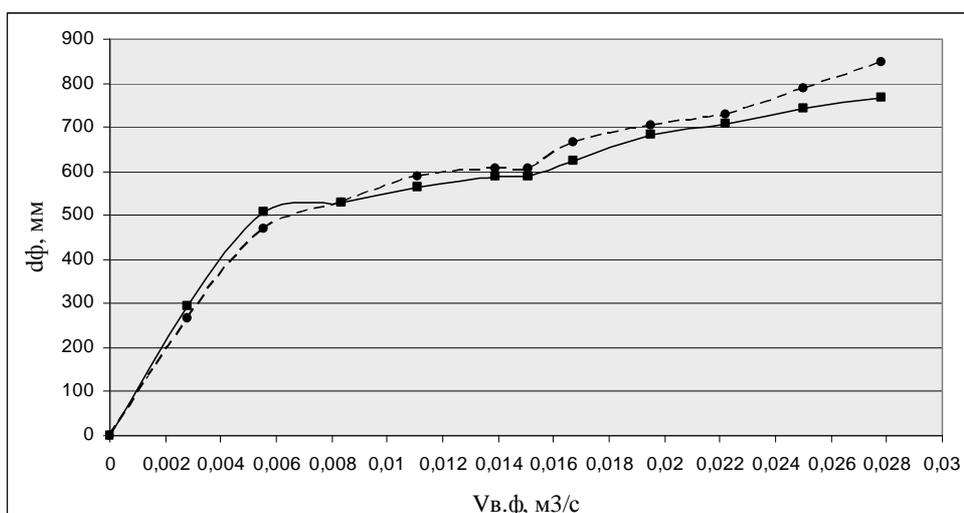


Рис. 2. Зависимость максимального диаметра факела разбрызгивания от расхода воды на эвольвентную форсунку:

—■— — форсунка направлена вверх; ---●--- — форсунка направлена вниз

По результатам исследования были построены схемы, на которых показано перекрытие канала скруббера факелами воды эвольвентных форсунок на разных ярусах. На рис. 3 приведена схема при условиях на металлургическом предприятии.

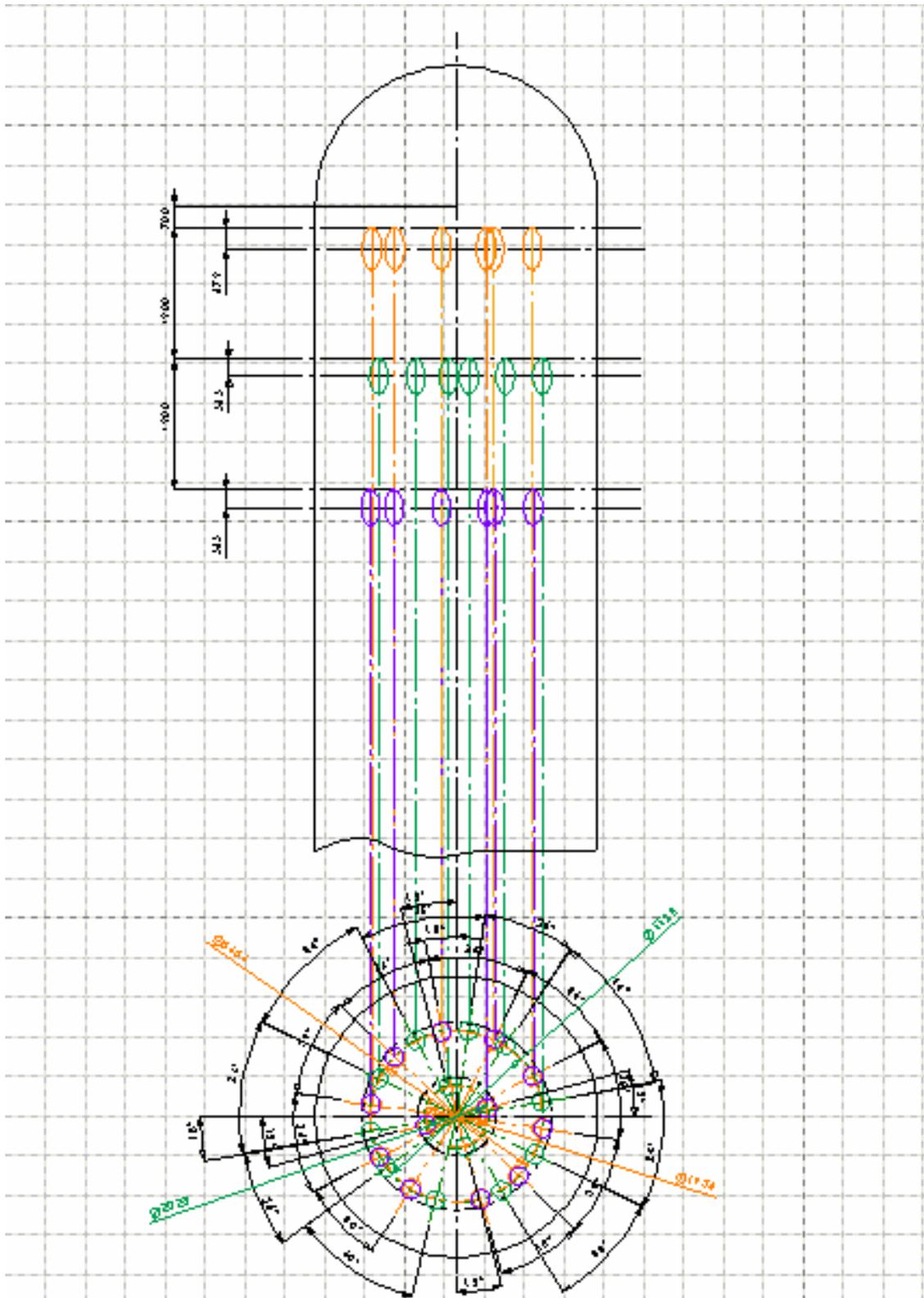


Рис.3. Схема перекрытия канала скруббера факелами воды эвольвентных форсунок на разных ярусах при условиях на металлургическом предприятии (расход воды на форсунку  $0,0151 \text{ м}^3/\text{с}$ , расход воды на скруббер  $0,543 \text{ м}^3/\text{с}$ )

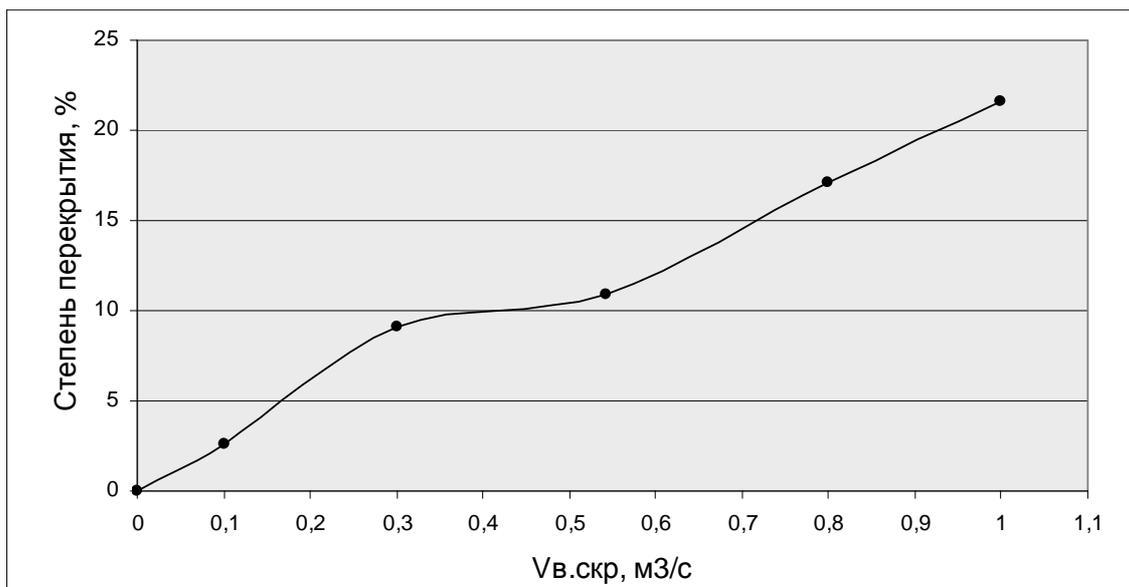


Рис. 4. Зависимость расхода воды на орошение скруббера от степени перекрытия факелами воды канала скруббера

Степень перекрытия факелами воды канала скруббера при условиях на металлургическом предприятии составляет 10,86 %. График зависимости расхода воды на орошение скруббера от степени перекрытия приведен на рис. 4.

Следовательно, так как степень перекрытия факелами воды канала скруббера при условиях на металлургическом предприятии составляет 10,86 %, то эффективность очистки колошникового газа с использованием эвольвентных форсунок низкая. При экспериментальном определении зависимости эффективности очистки от расхода воды можно оценить влияние работы форсунки. Необходимо совершенствовать конструкцию эвольвентной форсунки для организации полного перекрытия канала скруббера с целью увеличения эффективности работы скруббера.

#### *Моделирование работы скруббера*

В системе автоматизированного проектирования SolidWorks создается геометрическая модель скруббера [4] и производится ее импорт в программный комплекс FlowVision. Далее задается математическая модель движения газа как несжимаемая жидкость (газ). Модель несжимаемого газа включает: уравнения Навье-Стокса (закон сохранения импульса), уравнение неразрывности (закон сохранения массы жидкости); закон сохранения энергии; уравнение диффузионного переноса скалярной величины (закон сохранения массы) и уравнения  $k-\epsilon$  модели турбулентности.

Затем задаются и расставляются граничные условия. На входе газа задаются температура потока газа и вектор скорости, на выходе из скруббера – тип границы «свободный выход». Влияние стенки скруббера на теплофизические процессы не учитывается. Затем в нижней части скруббера создаются два одноразовых фильтра переменной концентрации и переменной температуры для воды. Далее вводятся параметры метода расчета и метода численного моделирования. После чего генерируется расчетная сетка. В результате расчета получено поле скоростей по сечению скруббера (рис. 5) и поле скоростей по сечению скруббера перед разбрызгивающим аппаратом (рис.6).

Следовательно, при моделировании форсуночного аппарата скруббера необходимо учитывать неравномерность скоростей колошникового газа.

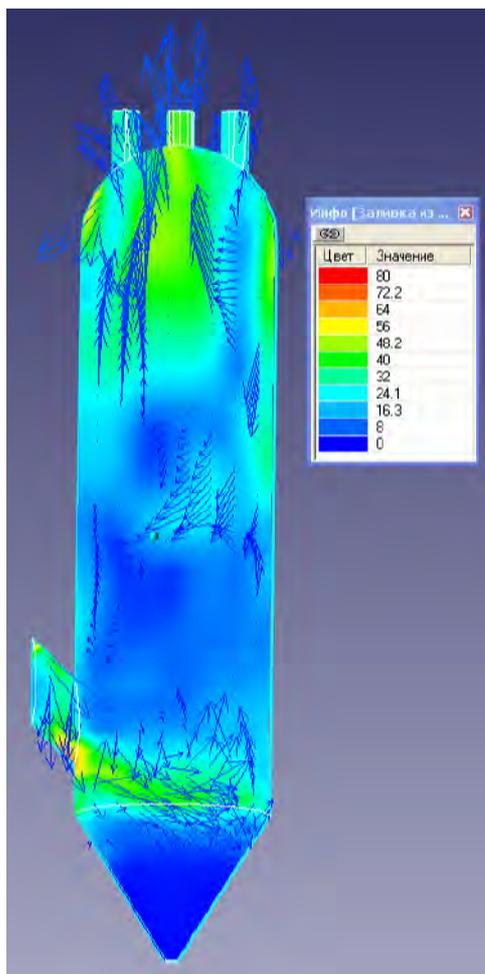


Рис. 5. Поле скоростей по сечению скруббера

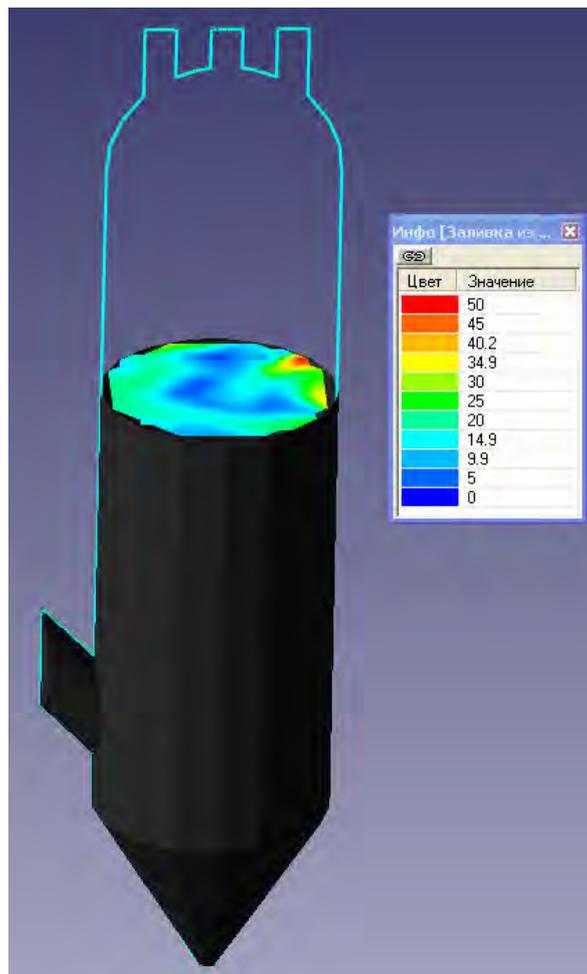


Рис. 6. Поле скоростей по сечению скруббера перед разбрызгивающим аппаратом

**Вывод.** Исследование работы скруббера с помощью программного комплекса FlowVision позволило определить поле скоростей колошникового газа внутри скруббера и оценить работу форсуночного аппарата. На основании проделанной работы, используя профессиональную версию пакета FlowVision, можно разработать полную математическую модель работы форсуночного скруббера для определения эффективности очистки колошникового газа.

### Литература

1. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве: Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – 400 с.
2. FlowVision. Система моделирования движения жидкости и газа. Версия 2.3.3. Руководство пользователя, 1999-2007.
3. SolidWorks. The world's #1 mainstream 3D design software. Версия 2006. Руководство пользователя, 1995–2005.
4. Использование пакета FlowVision для исследования работы скруббера по очистке доменного газа / Михрина Т.В., Горбунов В.А. // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : Тринадцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. 1–2 марта 2007г. : Тез. докл. : В 3-х т. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. Т. 2. – С. 420-421.