

*Рисунок 9.3 – Эффективность использования орошения при возделывании второго урожая картофеля, %*

Результаты исследования показали, что возделывание второго урожая картофеля с использованием капельного орошения выгодно и позволяет не только дополнительно увеличить продуктивность на 14...18% картофеля, но и улучшить товарный вид клубней благодаря их форме, уменьшению растрескиваемости, а также стабилизировать биохимические параметры клубней, что является очень важным показателем для промышленной переработки картофеля.

**9.4. Создание автоматизированного расходомера на основе аддитивных технологий (Гавриловская Н.В., Гаспарян И.Н., Дубенок Н.Н., Ермолаева О.С., Зейлигер А.М., Ивашова О.Н., Михеев П.А., Паливец М.С., Петухова М.В., Подобный А.В., Снежко В.Л., Солошенко А.Д., Шабанов В.В., Щедрина Е.В.)**

Для реализации экспериментов с движущимися жидкостями необходимы приборы, которые измеряют их скорость. Такие приборы называются анемометрами, либо расходомерами. Когда движение потока быстрое и склонно к изменению, процесс измерения требует автоматизации [18]. Отметим, что все измерительные приборы имеют ограничение диапазона измерений, в частности, одни анемометры измеряют с большей точностью меньшие потоки, другие же рассчитаны на быстрые, но их точность ниже. В рамках наших задач было необходимо создать устройство с возможностью адаптации под узкий диапазон измерений, обладающее при этом высокой разрешающей способностью, и как следствие – высокой точностью после необходимых калибровок.

Рассмотрим основные типы устройств расходомеров, отличающиеся по принципу измерения:

- Вращающиеся – отдельные элементы устройств вращаются в зависимости от силы потока;
- Акустические – измеряют скорость распространения звука в среде;
- Термические – измеряют изменение температуры контрольного элемента при прохождении через него потока;
- Оптические – измеряют скорость специальных частиц в потоке с помощью отраженного лазерного луча;
- Динамические – измеряют скорость потока через разницу давлений на входе и выходе специальной трубки с различным сечением.

В научных исследованиях чаще всего применяются последние два типа расходомеров, в следствии их достаточно высокой точности, конечно, при условии правильно подобранных параметров. Из них более простым в реализации является последний тип – динамический расходомер. Он представляет из себя трубку с изменяющимся диаметром и двумя манометрами, подключенными в местах трубки с различными сечениями. Принцип действия данного прибора основан на законе Бернулли, из которого следует, что любое

сужение в области прохождения потока уменьшает площадь его сечение, что в свою очередь ведет к увеличению скорости движения потока [84]. Из Закона Бернулли для жидкостей, протекающих в горизонтальной трубе, имеем формулу:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = const, \quad (9.5)$$

где:  $\rho$  — плотность жидкости,  $v$  — скорость потока,  $p$  — давление в точке пространства, в которой расположен центр массы рассматриваемого элемента жидкости. Из данной формулы видно, что любое увеличение скорости потока приводит к уменьшению давления в этой области. Закон Бернулли справедлив и для ламинарного течения газа, если скорость течения мала по сравнению со скоростью звука. Итак, зная принцип, на котором основан динамический расходомер, перейдем к одному из широко использующихся устройств, относящихся к данному классу - трубке Вентури. Она приведена на рисунке 9.4 и состоит из входного конуса - (2), горловины (3) и диффузора (4). Для выравнивания давления на периферии горловина и входной конус имеют кольцевые усредняющие камеры (1).

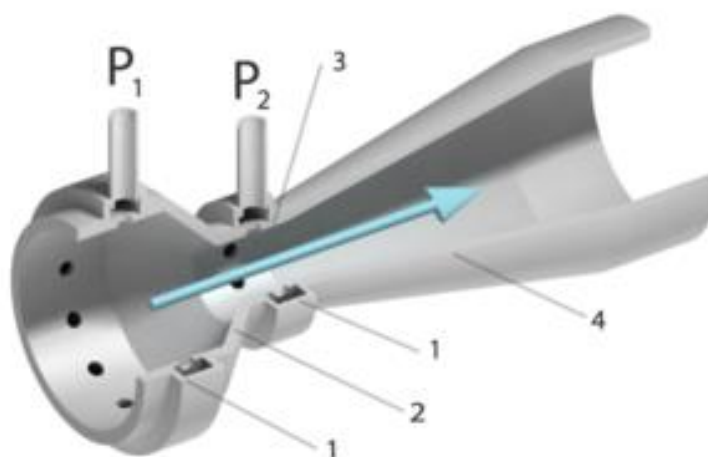


Рисунок 9.4 – Трубка Вентури

Отводы от трубы подключают к устройствам измерения давления - манометрам. Расход определяется выражением:

$$Q = \frac{CA_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2 \frac{P_1 - P_2}{\rho}}, \quad (9.6)$$

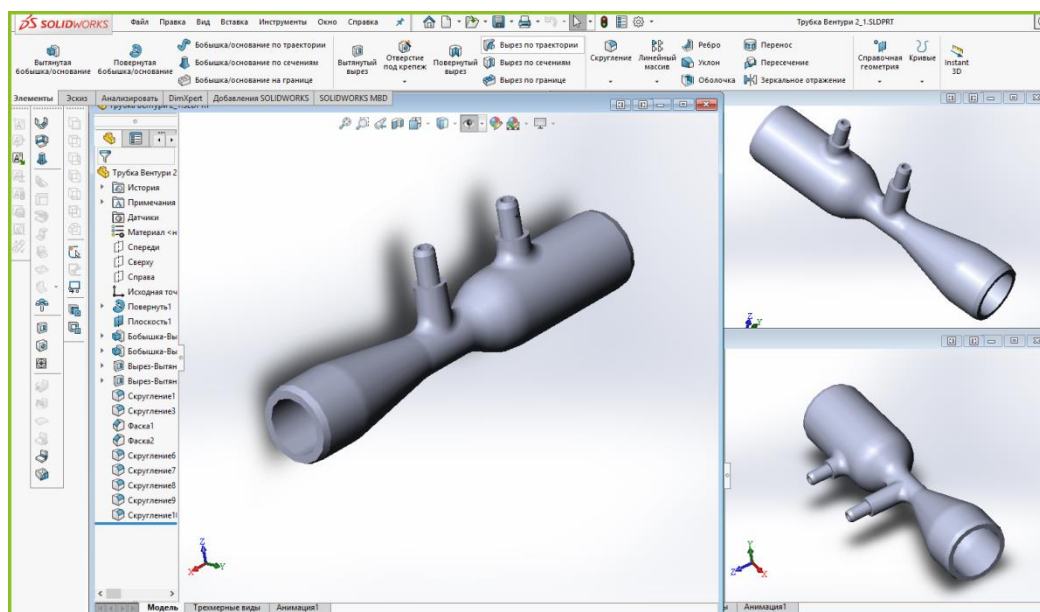
где:  $Q$  — объемный расход жидкости,  $C$  — экспериментальный коэффициент, отражающий потери внутри расходомера,  $A_1$  и  $A_2$  — площади сечения трубопровода и горловины,  $\rho$  — плотность жидкости или газа,  $P_1$  и  $P_2$  — статические давления на входе трубы и в горловине. В случае измерения расхода газа в выражение вводят коэффициент сжимаемости газа.

Для создания трубки Вентури было решено воспользоваться аддитивными технологиями (3D печатью), так как именно данные технологии в наше время позволяют в кратчайшие сроки и при минимальной себестоимости воспроизводить детали по 3d моделям. Современный рынок 3D печати довольно широкий, но самыми доступными являются методы послойного наплавления (FDM) и стереолитография (SLA). Данные технологии известны еще с 1980-х годов. Рассмотрим, чем они отличаются, и какой способ более оптимален под нашу задачу. Метод послойного наплавления (FDM) - является наиболее доступной и распространенной технологией 3D-печати. Данные принтеры работают с экструдерами, на которые подается термопластичная нить – филамент. Он расплавляется и укладывается на нагретый стол по заданной траектории. Материалы одновременно охлаждаются и прилипают друг к другу, создавая трехмерную деталь. Достоинством FDM-печати являются низкая стоимость, высокая стабильность, простота обработки. Недостатки FDM-печати: низкая точность, дефекты на поверхности, вызванные нагревом сопла при печати. При стереолитографии (SLA) вместо нитей SLA 3D-принтеры работают с фотополимером – светочувствительной жидкостью, затвердевающей при воздействии ультрафиолета. Вместо экструдера SLA использует свет, проходящий через матрицу дисплея, который располагается у основания печатного контейнера для отверждения жидкой смолы в деталь. Данный процесс, называется фотополимеризацией. Данный способ печати обеспечивает высокое разрешение печатаемых деталей, наделяя их изотропными (одинаковый во всех направлениях) свойствами. Основными

достоинствами SLA печати являются высокая точность и изотропность. Недостаток SLA печати: более низкая прочность по сравнению с FDM печатью.

Как можно заключить из вышесказанного – для создания трубки Вентури малого размера (для измерения относительно малых потоков) – лучше использовать SLA печать, так как там не требуется высокая прочность изделия, а вот от точности параметров печати будет зависеть и точность всего измерительного прибора.

Разработка 3D модели будущего измерительного устройства производилась в программном комплексе Solidworks (рисунок 9.5). Для подготовки модели к SLA печати использовался инструмент ChiTuBox. Данный программный комплекс «нарезает» 3d модель на множество слоев, создавая для каждого слоя соответствующую картинку, которая в дальнейшем будет отображаться на печатающем поле принтера, заставляя отвердевать фотополимер.



*Рисунок 9.5 – Объемная 3D модель расходомера, разработанная в программе Solidworks*

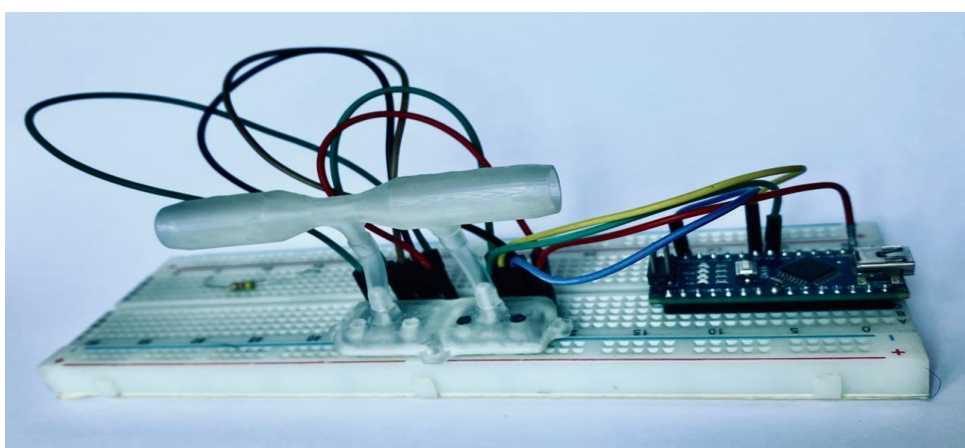
Были разработаны несколько моделей расходомеров с различными геометрическими параметрами, которые в дальнейшем были успешно напечатаны на фотополимерном принтере. Однако проведение первых

экспериментов сразу выявило необходимость автоматизации процесса измерения, потому как параметры давления изменялись достаточно быстро. Автоматизировать процесс возможно с помощью применения микроконтроллера, который сможет достаточно быстро считывать и обрабатывать информацию с электронных датчиков [133, 167]. В качестве микроконтроллера, который выполнит данную задачу, была использована отладочная плата «Arduino Uno». На роль цифрового датчика давления был выбран датчик BMP-280, который, согласно технической документации, обладает следующими характеристиками:

- Диапазон измерения атмосферного давления: 300 гПа – 1100 гПа ( $\pm 0.12$  гПа), что эквивалентно диапазону от -500 до 9000 м над уровнем моря
- Диапазон рабочих температур:  $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$
- Скорость измерения 0,1 мс.

Для подключения данного датчика к микроконтроллеру был использован интерфейс связи SPI. В качестве программного обеспечения использовался пример из библиотеки «`adafruit_BMP280.h`», адаптированный под необходимое число датчиков.

После проведения серии экспериментов был выбран расходомер с оптимальной конфигурацией (рисунок 9.6).



*Рисунок 9.6 – Прототип расходомера во время испытаний*

Подставляя измеренное значение давлений, полученных с электронных датчиков, и точные геометрические параметры трубки в формулу, описанную

выше, можно получить объёмный расход, из которого, при необходимости, можно вычислить скорость потока. В дальнейшем предполагается разработать программу мероприятий для калибровки и поверки данного расходомера.

**9.5. Подготовка кадров для мелиорации и водного хозяйства в условиях цифровизации (Гавриловская Н.В., Гаспарян И.Н., Дубенок Н.Н., Ермолаева О.С., Зейлигер А.М., Ивашова О.Н., Михеев П.А., Палиивец М.С., Петухова М.В., Подобный А.В., Снежко В.Л., Солошенко А.Д., Шабанов В.В., Щедрина Е.В.)**

В условиях глобальной цифровой трансформации современного общества (ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство», Всероссийский каталог цифровых решений, представленный Аналитическим центром Минсельхоза России) для преподавателей становится возможным задействовать в своей профессиональной деятельности новые цифровые инструменты с целью формирования цифровых компетенций будущих выпускников и определенного набора знаний, умений и навыков. Платформой для применения новых инструментов могут быть электронные образовательные среды учебных заведений, в которых применяются адаптивные электронные образовательные ресурсы, в частности сетевые электронные учебно-методические комплексы, предоставляющие возможности реализации всех этапов дидактического цикла.

Основная идея исследования – обучение студентов с ориентацией на современные условия глобальной цифровизации. Методологической основой исследования вопросов подготовки студентов аграрного вуза в условиях цифровизации выступают основные положения деятельностного и проблемно-ориентированного подходов с профессионально-ориентированным содержанием, электронного обучения. В процессе исследований использовались материалы ведомственного проекта «Цифровое сельское