

**Всероссийский конкурс юных исследователей
окружающей среды
имени Б.В. Всесвятского**

Номинация: Зеленая энергетика

**Проблема получения водорода путём
электролиза воды**

Автор: Коняев Александр Сергеевич,
11 класс,
МОУ СШ №1 г. Фурманова

Научный руководитель:
Горохова Мария Васильевна,
заместитель директора по учебно-воспитательной работе
МОУ СШ №1 г. Фурманова

Содержание:

Содержание	1
Введение	2
Часть 1. Теория	3
1.1 Теоретическое обоснование процесса электролиза воды.	3
1.2 Электролизеры. Виды и принципы работы.	4
1.3 Электролит.	5
1.4 Газозаполнение в электролизере.	6
1.5 Перенапряжение электролизера.	7
1.6 Электролиз при нагревании и под давлением.	8
1.7 Импульсный электролиз.	9
1.8 Расчет параметров работы электролизера.	10
Часть 2. Практика	12
2.1 Изготовление электролизера сырого типа.	12
2.2 Изготовление электролизера сухого типа.	13
2.3 Изготовление электролизера Стэнли Мейера.	14
Часть 3. Эксперименты	15
Вывод	17
Приложение	18
Список литературы	36

Введение

Актуальность:

в современном мире стали все чаще обращаться к экологичным и экономичным видам топлива, каким является водород (к примеру, 1 литр бензина АИ-92 стоит 45 рублей и выделяет в атмосферу 2,35 кг, природный газ, который стоит 12 рублей за литр, выделяет в атмосферу примерно 1,85 кг, а при сжигании водорода, который стоит около 0,29 рублей за литр, не выделяется вредных примесей вообще) . Его проще и выгодней получить путем электролиза воды. Аппараты для получения водорода называются электролизеры. Их огромное множество конструкций, но основных всего 3 типа.

Объект исследования:

1. Электролиз воды
2. Электролизер

Цель: определить практическим путем, какой из распространённых типов электролизеров является наиболее эффективным.

Задачи:

1. Изготовить опытные образцы электролизеров основных типов.
2. Провести необходимые измерения по скорости генерации газа.
3. Рассчитать эффективность каждого из электролизеров
4. На основе полученных данных сделать вывод

Гипотеза: по моему мнению, электролизер сухого типа является наиболее эффективным.

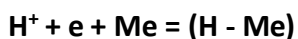
Практическая значимость проекта: Материал проекта может быть полезным людям, ищущим новые способы получения топлива, а также для развития кругозора в целом, и увеличения знания в области электролиза воды, в частности.

Часть 1. Теория.

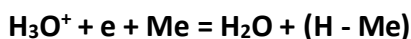
1.1 Теоретическое обоснование процесса электролиза воды.

Электролиз — это электрохимический процесс, во время которого молекулы электролита диссоциируют под действием электрического тока на ионы.

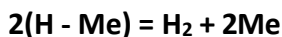
Во время электролиза молекулы электролита распадаются на свои составляющие. Например, молекула серной кислоты (H_2SO_4) распадается на водород (H_2), кислород (O_2) и серный ангидрид (SO_3). Чаще всего под электролизом принимают электролиз воды. Вода под действием электролиза распадается на водород и кислород. Ионы водорода (H^+) и кислорода (O^-) под действием электромагнитного поля стремятся к противоположным по заряду электродам: кислород к положительному (+) электроду, водород — к отрицательному (-). Выделение водорода происходит за счет разряда ионов H^+ с образованием атомарного водорода, который адсорбируется на поверхности катода:



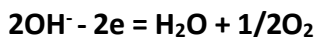
Поскольку ион водорода в растворе гидратирован, стадия его разряда:



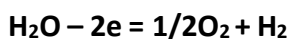
Следующая стадия катодного процесса — рекомбинация атомарного водорода в молекулярный:



Выделение на аноде кислорода при электролизе воды происходит в результате разряда гидроксильных ионов или молекул воды:



Таким образом, формула разложения воды принимает следующий вид:



Следовательно, при электролизе воды из одной молекулы получается 2 атома водорода и 1 атом кислорода. Таким образом, объем водорода будет в 2 раза больше, чем объем кислорода. При нейтрализации на электродах из 2 молекул воды мы получаем 2 молекулы водорода и 1 молекула кислорода.

Для получения газов этим способом необходим специальный прибор — электролизер.

1.2 Электролизеры. Виды и принципы работы.

Электролизеры - устройство, внутри которых происходит электролиз. Их подразделяют на 3 типа:

1. электролизер сырого типа.
2. электролизер сухого типа.
3. ячейка Стэнли Мейера.

1.2.1 Электролизер сырого типа

Электролизеры сырого типа являются самыми простыми по конструкции, и менее практичными. Но при должной настройке сырой электролизер будет обладать достаточным КПД, не уступающим более совершенным электролизерам.

Конструкция: пара пластин (или блок из нескольких пар пластин, соединенных последовательно или параллельно) помещена в герметичную емкость с электролитом.

Проблема: просадки по напряжению.

1.2.2 Электролизер сухого типа

Электролизеры сухого типа являются более совершенными, чем предыдущие, но более сложные в изготовлении.

Конструкция: «бутерброд» из боковых пластин, электродов и резиновых прокладок, собранных в определенной последовательности: боковая пластина – резиновая прокладка – электрод – резиновая прокладка - ... - боковая пластина.

Проблема: газозаполнение.

1.2.3 Ячейка Стэнли Мейера

Ячейка Стэнли Мейера является самым совершенным электролизером, но одновременно трудно изготавливаемым. Никто еще не смог воссоздать его электролизер.

Конструкция: блок из двух трубок, вставленных одна в другую, погружен в герметичную емкость с водой.

Проблема: огромные просадки по напряжению при его работе.

1.3 Электролит.

При электролизе воды очень важно правильно подобрать электролит, так как от него зависит скорость и качество реакции. Вода сама по себе не проводит электрический ток. Чаще всего в качестве электролита используют водный раствор соли или щелочи металлов. Главное, чтобы электролитический потенциал металла, из которого состоит электролит, был меньше, чем у водорода. Вот металлы, которые чаще всего используют при электролизе воды:

H_2 (водород) = 0,00

Na(натрий) = -2,71

K(калий) = -2,91

Ca(кальций) = -2,87

Чаще всего используют гидроксиды калия (едкий калий - KOH) и натрия (едкий натр - NaOH).

У каждого электролита разное сопротивление, оно зависит от концентрации вещества и от температуры нагрева электролита.

Минимальное сопротивление имеет 25-ти % раствор NaOH при температуре 80°C (0.941). Но самым оптимальным выбором будет 20-ти % раствор NaOH. Он имеет минимальное удельное сопротивление при любой температуре.

Если сравнивать KOH с NaOH, то здесь выигрывает KOH из-за меньшего удельного сопротивления (следовательно, процесс электролиза воды будет проходить быстрее и эффективнее). Но NaOH дешевле, поэтому в промышленных установках используют как KOH, так и NaOH.

Я буду использовать в качестве электролита растворы следующих химических соединений: $NaHCO_3$ (гидрокарбонат натрия, или пищевая сода), Na_2CO_3 (Карбонат натрия, или кальцинированная сода) и NaCl (хлорид натрия, или поваренная соль)

1.4 Газозаполнение в электролизере.

Одна из главных проблем электролизеров — это газозаполнение. При газозаполнении происходит уменьшение активной площади пластин электролизера, излишнее образование пены, которая отводится вместе с газом, нагрев электролизера и увеличение расхода электроэнергии.

Газозаполнение происходит из-за увеличения плотности тока, от уменьшения расстояния между пластинами, от увеличения перенапряжения.

При увеличении плотности тока происходит повышенное образование газа, он не успевает выйти через газоотводный штуцер и заполняет все пространство в электролизере. При этом уменьшается активная площадь пластин. Чтобы этого не произошло, надо держать плотность тока в определенных границах и правильно подбирать диаметр отверстий газоотводящих штуцеров.

При изменении расстояния между пластинами газу становится труднее покидать активную площадь, поэтому необходимо использовать определенное расстояние между пластинами (2-5 мм).

При увеличении перенапряжения происходит повышения напряжения, а как следствие, повышается плотность тока. Как решить проблему перенапряжения, описано в пункте 1.5.

1.5 Перенапряжение электролизера.

Перенапряжение пластин является острой проблемой в использовании электролизеров.

Перенапряжение происходит от увеличения плотности тока, от увеличения удельного сопротивления электролита, увеличению расстояния между электродами, и увеличению газонаполнения. Сейчас подробно пробежимся по всем проблемам.

При увеличении плотности тока происходит увеличение силы тока на единицу площади. Значит, растет и напряжение питания. Следовательно, необходимо держать плотность тока в определенных границах.

При увеличении удельного сопротивления так же растет сила тока, а следовательно, и напряжение. Необходимо также держать сопротивление в границах допустимостей.

Это можно сделать регулировкой концентрации щелочи и температуры электролита. При увеличении расстояния между пластинами растет сопротивление тока и потери напряжения в электролите. Необходимо использовать строго определенное расстояние между пластинами (от 2 до 5 мм).

Как видно, причины газонаполнения и перенапряжения похожи, следовательно, перенапряжение зависит от газонаполнения. Следовательно, при газонаполнении происходит перенапряжение пластин электролизера. Чтобы решить перенапряжение, надо уменьшить газонаполнение, и наоборот, чтобы уменьшить газонаполнение, надо уменьшить перенапряжение.

1.6 Электролиз при нагревании и под давлением.

При электролизе воды из молекул воды образуются молекулы газов: водорода и кислорода. При этом объем газов больше первоначального объема жидкости в 1868 раз. Это означает, что электролизер способен нагнетать давление, причем любое, которое может выдержать. Например, если первоначально давление воды на стенки сосуда было равно 1 атмосфере, то при полном распаде всей воды на газы давление на стенки сосуда будет равно 1868 атмосфер. Таким образом, давление ограничивается увеличением в 1868 раз по сравнению с первоначальным. Но это все равно очень много, и чаще всего такое давление не используется, и тем более его очень сложно накапливать. При этом происходит экономия энергии, так как электролиз под высоким давлением протекает с большим КПД.

Также при электролизе электролит нагревается. При этом уменьшается удельное сопротивление электролита, так как увеличивается расстояние между молекулами электролита, уменьшается перенапряжение, так как уменьшается сопротивление, о чем говорилось ранее, увеличивается КПД, так как сокращаются все потери энергии, и, как следствие, уменьшается расход электроэнергии.

1.7 Импульсный электролиз.

При импульсном электролизе постоянный ток подается поляризованными импульсами с заданной частотой и амплитудой. Исследованиями ученых доказано, что при определенных частотах происходит частичный или полный распад воды на кислород и водород. Это 620, 630, 1200, 42800 Гц. Идеально для распада воды подходят импульсы с частотой 42712,12 Гц.

Есть схема питания двухэлектродного электролизера. Источник подает импульсы до тех пор, пока не наступит диссоциация молекулы воды. Далее, при появлении тока проводимости, схема измерения тока питания выявляет этот скачок тока, и запирает источник импульсов на несколько циклов, позволяя воде распадаться без затрат от источника питания. Длительность паузы регулируется вручную, но в современной схеме можно использовать микропроцессор для управления параметрами генератора импульсов. Это позволит работать с водой разного качества. Электролиз во время паузы между импульсами идет без затрат от первичного источника питания. Затем,

начинается новый цикл импульсов, заряжающих конденсатор электролизера импульсами «ступенчатым» методом.

Так же есть схема импульсного питания электролизера с 3-мя и более пластинами.

Там имеются небольшие отличия, но основной принцип работы такой же, как и первой схемы.

Но чаще всего используют высоковольтную импульсную схему Стэнли Мейера или

низковольтную схему Дэйва Лоутона. Они наиболее подходят для электролиза воды, но и более сложны в изготовлении.

1.8 Расчет параметров работы электролизера.

Электролизер, как и любое другое устройство, необходимо изготавливать с определенными правилами.

Пластины могут быть любой формы, но в сухом электролизере желательно использовать круглые пластины, так как они выдерживают большее давление. Но в электролизерах сырого типа этим можно пренебречь. Главное, чтобы они были не очень большими по площади, чтобы электрический ток проходил на всю площадь пластин и был там равномерно. Также они должны быть низкими, чтобы уменьшить

газонаполнение. идеальная форма: квадрат или горизонтальный прямоугольник. Но в некоторых случаях можно сделать пластины высокими, если известно, что их часть будет под изолятором.

Также надо электролизер делать под необходимую скорость генерации газа. Здесь все зависит от площади. Если площадь меньше, электролизер будет перегреваться и будет сильное газонаполнение. Если площадь велика, то он будет долго запускаться.

Вот основные закономерности в размерах и мощности. Чтобы получить скорость генерации газа в 1 л/мин необходима мощность электролизера в 100 Вт. А для этого необходима активная площадь 0.1 м². От этого следует отталкиваться при изготовлении электролизера. Также у электролизеров сухого типа, и у электролизеров сырого типа, где пластины соединены последовательно, происходит деление напряжения на каждую ячейку. Надо помнить, что на каждую ячейку необходимо 1.69 В. Учитывая падение напряжения, лучше брать 2 В на 1 ячейку (то есть на 2 пластины). Также при разработке электролизера следует учитывать, что диаметры отверстий для отвода газа зависят от скорости генерации газа.

Для теоретического расчета количества выделившегося вещества используют формулу Фарадея:

$$m = kQ = kit$$

где k - электрохимический эквивалент. $k(\text{H}_2) =$

$$0.01044 \text{ мг/Кл}$$

$$k(\text{O}_2) = 0.0829 \text{ мг/Кл}$$

Для расчета объема получившегося газа используют следующую формулу: для кислорода:

$$V(\text{O}_2) = 0.205 * (I * n * t) / 1000 \text{ м}^3$$

для водорода:

$$V(\text{H}_2) = 0.41 * (I * n * t) / 1000 \text{ мЗ}$$

При прохождении через электролит разного тока выделяется разное количество газа.

Также можно рассчитать скорость генерации газа опытным путем. Сначала мы

засаеваем время и считаем, сколько пузырьков газа при этом вышло из трубки. Обычно это 1 минута. Потом количество пузырьков мы умножаем на объем 1 пузырька,

который мы узнаем с помощью формулы объема шарика. Вот формула:

$$V = (3/4 * 3.14 * r^3) * n$$

где r - радиус трубки, n - количество пузырей, вышедших из трубки за 1 минут

Часть 2. Практика.

2.1 Изготовление электролизера сырого типа.

Электролизер сырого типа изготовить проще всего. Это связано с тем, что по своей конструкции он проще всего (пункт 1.2.1).

Для начала подберем емкость для электролита. Для этих целей можно использовать стеклянную банку, пластиковый контейнер, емкость, изготовленную своими руками и т.д. Главное, чтобы она была герметична, и у нее была герметично закрывающаяся крышка.

В качестве рабочего тела используется блок из пластин (электродов). Минимальное количество пластин: 2. Можно использовать и больше, главное, правильно их

подключить (желательно использовать четное количество пластин, половину (через 1) подключаем к +(плюсу), остальные (тоже через 1) – к – (минусу)). Пластины можно

делать из любого материала, проводящего электрический ток. Желательно использовать металлы, с электрохимическим потенциалом меньше водорода. Чаще всего используют железо и его сплавы.

Это может быть оцинкованная сталь (железо, покрытое цинком), разные виды нержавеющей стали и т.д. Лучше всего использовать нержавеющую сталь марки AISI-304 или AISI-316. Пластины

располагаются строго параллельно друг другу. Между ними расстояние около 2 мм. Такое расстояние

делают из резиновых прокладок. Эти прокладки вырезаются из резины сорта ТМКЩ (тепло-морозо-кислотно-щелочно стойкая). Еще важно, чтобы положительные (+) пластины не касались отрицательных (-), и наоборот. Потом закрепляем блок из пластин к крышке (так его будет легче обслуживать). Потом к крышке приделываем газоотводный штуцер и 2 клеммы – положительную (+) и отрицательную (-).

После этого наливаем в емкость электролит, устанавливаем крышку с рабочим телом и присоединяем всю необходимую обвязку (пункт 2.4.). После этого подключаем питание и все, электролизер сырого типа готов.

Такой электролизер, при должной настройке и при небольших габаритах, будет вырабатывать газ со скоростью 1 л/мин. Для большей скорости генерации газа сырой электролизер не подходит, так как размер электролизера будет увеличиваться гораздо больше, нежели сама мощность.

2.2 Изготовление электролизера сухого типа.

Электролизер сухого типа является, как уже писалось ранее, более эффективным по сравнению с электролизерами сырого типа.

Для начала надо определиться с необходимыми характеристиками электролизера (пункт 1.8). Мы будем рассматривать электролизер для питания от 12-ти вольт.

Следовательно, нам необходимо 2 боковые пластины, 7 электродов, 6 или 8 резиновых прокладок.

Боковые пластины можно изготовить из любого материала, который не гнется и не пропускает воду. Это может быть фанера, оргстекло, пластик, железо и т.д. Для первых электролизеров лучше выбрать фанеру или оргстекло, так как их легче обрабатывать. Если использовать боковые пластины из металла, то электродов надо будет на 2 меньше, так как боковые пластины тоже будут участвовать в реакции (будут первым и последним электродом).

Пластины электролизера (электроды) лучше делать из нержавеющей стали марки AISI- 304 и AISI-316 (пункт 2.1). Для 12 вольт необходимо 7 пластин, которые будут составлять 6 ячеек. Подключаются в этом случае только первая последняя пластина.

Пластины не должны касаться друг друга.

Разделять пластины должны резиновые прокладки из резины сорта ТМКЩ (пункт 2.1).

Толщина пластин должна быть не менее 2 мм и не более 5 мм (пункт 1.5). Ширина стенок пластин не менее 10 мм (для лучшей герметичности).

После того, как все детали подготовили, начинаем сборку. Собираем электролизер в такой последовательности: боковая пластина – резиновая прокладка – электрод – резиновая прокладка - ... - боковая пластина. Потом все это скрепляем болтами по периметру. Главное, равномерно сжать всю конструкцию так, чтобы электролизер не скосило в сторону, и чтобы была максимальная герметичность. Сначала затягиваем угловые винты, чтобы равномерно сжать всю конструкцию. Потом затягиваем серединные винты, потом добавляем остальные. После этого вкручиваем штуцер для циркуляции воды и для отвода газа и все, электролизер готов.

Такой электролизер будет вырабатывать такую скорость генерации газа, которая необходима, так как размер увеличивается меньше, чем мощность. Соответственно, КПД такой установки гораздо больше, нежели электролизера сырого типа под одинаковую скорость генерации газа.

2.3 Изготовление электролизера Стэнли Мейера.

Изготовление ячейки Стэнли Мейера принципиально не отличается от изготовления электролизера сырого типа. Все этапы похожи, но есть некоторые отличия.

В качестве емкости для электролита, как и ранее, можно использовать стеклянную банку, пластиковую емкость или любую другую, главное, чтобы она была герметична. Это одинаковый этап и у ячейки Мейера, и у электролизера сырого типа.

А вот следующий этап отличается от аналогичного у сырого электролизера. Если у электролизера сырого типа имеется блок пластин, то у ячейки Мейера вместо него блок из пары трубок. Требование к материалу трубок такое же, как и к материалу пластин – они должны быть устойчивы к воде и щелочи. Лучший выбор –

нержавеющая сталь марки AISI-304 и AISI-316. Хотя можно использовать и любой другой материал.

Между трубками должно быть пространство около 2 мм. Это делается с помощью прокладок из резины сорта ТМКЩ. Сколько таких ячеек брать, выбираете исходя из необходимой мощности электролизера.

В крышке мы делаем 3 отверстия: 2 для контактных выводов, 1 для газоотводного штуцера.

Закрепляем все это в крышке, подключаем провода от ячейки к контактным выводам.

Потом подключаем все ячейки параллельно, устанавливаем блок ячеек в емкость, закрываем герметично крышкой, и подаем ток. При этом ток должен быть импульсным, иначе КПД установки будет примерно 75% (при импульсном токе КПД установки равно минимум 125%, и увеличивается с увеличением частоты импульсов). Все, электролизер Стэнли Мейера готов.

Такой электролизер будет вырабатывать огромное количество газа при небольшом объеме, примерно в 3 раза больше, чем сырой электролизер, но это только при должной настройке электролизера и импульсной схемы питания.

Часть 3. Эксперименты.

Эксперименты я проводил в школьной лаборатории. Прежде чем начать, я подготовил необходимые инструменты и материалы:

1. Электролизер сырого типа
2. Электролизер сухого типа
3. Ячейка Мейера
4. Поваренная соль
5. Пищевая сода
6. Кальцинированная сода
7. Индукционная плита
8. Термометр спиртовой
9. Измерительный цилиндр
10. Весы электронные
11. Блок питания

Опыты я проводил в 3 этапа:

1. Получение водорода с помощью электролизера сырого типа
2. Получение водорода с помощью электролизера сухого типа
3. Получение водорода с помощью ячейки Мейера

Первое, что необходимо сделать – приготовить электролит. Электролиты для всех этапов будут одинаковые. Их мы будем делать с разной концентрацией от 15% до 27.5% с шагом в 2.5%. при этом каждый электролит мы будем нагревать от 20 до 90 градусов Цельсия с шагом 10 градусов. Всего для каждого электролизера я провел 48 экспериментов. Результаты каждого эксперимента я занес в таблицу и по этим данным составил графики.

Этап 1.

Первые эксперименты я провел с электролизером сырого типа. Первые 48 экспериментов - с раствором NaHCO_3 . Результаты занес в таблицу и составил график (приложение 1.) в ходе экспериментов выяснилось, что максимальная эффективность будет у 22.5% раствора при температуре 70 градусов.

Следующие эксперименты проводим с раствором NaCl. Все результаты занес в таблицу (приложение 2). Здесь результат гораздо лучше, в среднем мощность увеличилась в 1.5 раза.

При этом максимальная мощность наблюдается при 25% раствора при температуре 90 градусов.

Последние эксперименты проводим с раствором Na₂CO₃. По результатам экспериментов (приложение 3) выяснилось, что при этом растворе электролизер сырого типа имеет наибольшую эффективность, которая составляет 37.65%.

Этап 2.

Теперь эксперименты я провел с электролизером сухого типа. Первые 48 экспериментов - с раствором NaHCO₃. Результаты занес в таблицу и составил график (приложение 4.). В ходе экспериментов выяснилось, что максимальная эффективность будет у 27.5% раствора при температуре 90 градусов.

Следующие эксперименты проводим с раствором NaCl. Все результаты занес в таблицу (приложение 5). Здесь результат стал гораздо лучше, в среднем мощность увеличилась в 1.2 раза.

При этом максимальная мощность наблюдается при 27.5% раствора при температуре 90 градусов.

Последние эксперименты проводим с раствором Na₂CO₃. По результатам экспериментов (приложение 6) выяснилось, что при этом растворе электролизер сухого типа имеет наибольшую эффективность, которая составляет 79.83%.

Этап 3.

Теперь эксперименты я провел с ячейкой Мейера. Первые 48 экспериментов - с раствором NaHCO₃. Результаты занес в таблицу и составил график (приложение 7.). В ходе экспериментов выяснилось, что максимальная эффективность будет у 27.5% раствора при температуре 90 градусов.

Следующие эксперименты проводим с раствором NaCl. Все результаты занес в таблицу (приложение 8). Здесь результат опять гораздо лучше, в среднем мощность увеличилась в 1.15 раза.

При этом максимальная мощность наблюдается при 27.5% раствора при температуре 90 градусов.

Последние эксперименты проводим с раствором Na₂CO₃. По результатам экспериментов (приложение 9) выяснилось, что при этом растворе ячейка Мейера имеет наибольшую эффективность, которая составляет 54.33%.

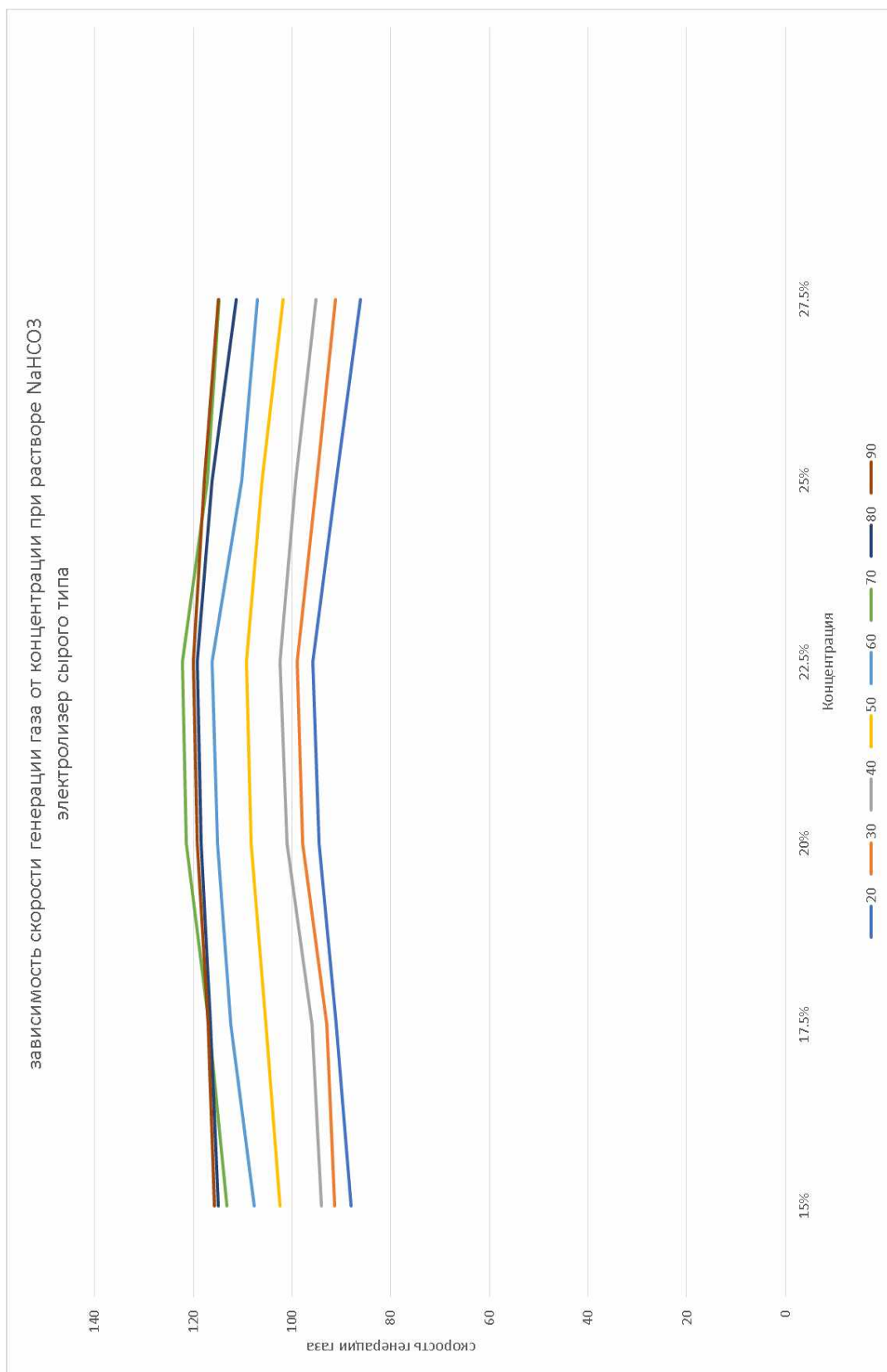
Вывод:

В ходе выполненных работ я доказал свою гипотезу о том, что максимальный КПД имеет при одинаковых условиях электролизер сухого типа с раствором Na_2CO_3 при концентрации в 27.5% и температуре 90 градусов по Цельсию. Эффективность составляет 79.83%.

Следующим по мощности идет ячейка Мейера, и самым слабым является электролизер сырого типа. Все эксперименты проводились в домашних условиях и с материалами, которые может найти каждый желающий. В будущем можно усовершенствовать конструкции, используя заводские материалы, и, возможно, получить иные результаты.

Приложение:

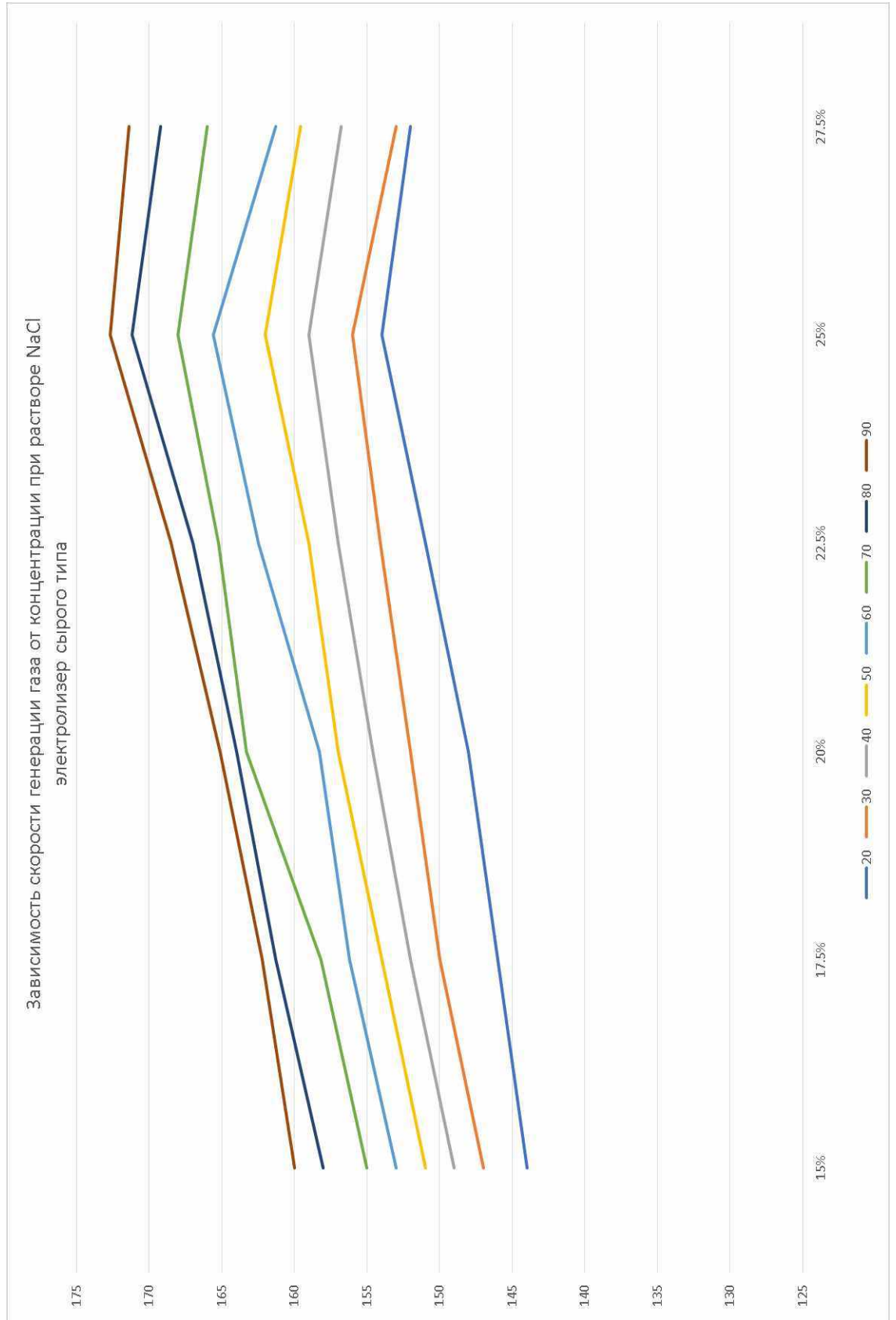
Приложение 1:



20	0,15	88	14.6%	
20	17.5%	91	15.16%	
20	0,2	94.5	15.75%	
20	22.5 %	95.8	15.96%	15.17%
20	0,25	91.1	15.18%	
20	27.5 %	86.2	14.36%	
30	0,15	91.4	15.23%	
30	17.5 %	93	15.5%	
30	0,2	97.9	16.32%	
30	22.5 %	99	16.5%	15.76%
30	0,25	95	15.83%	
30	27.5 %	91.3	15.22%	
40	0,15	94.1	15.68%	
40	17.5 %	95.9	15.93%	
40	0,2	101	16.83%	
40	22.5 %	102.5	17.08%	16.32%
40	0,25	99.3	16.55%	
40	27.5 %	95.2	15.86%	
50	0,15	102.4	17.06%	
50	17.5 %	105.3	17.55%	
50	0,2	108.4	18.06%	
50	22.5 %	109.3	18.21%	17.59%
50	0,25	106.1	17.68%	
50	27.5 %	101.9	16.98%	

60	0,15	107.7	17.95%	
60	17.5 %	112.4	18.73%	
60	0,2	115.1	19.18%	
60	22.5 %	116.3	19.38%	18.58%
60	0,25	110.2	18.36%	
60	27.5 %	107.1	17.85%	
70	0,15	113.3	18.88%	
70	17.5 %	116.9	19.48%	
70	0,2	121.5	20.25%	
70	22.5 %	122.3	20.38%	19.61%
70	0,25	117.2	19.53%	
70	27.5 %	114.8	19.13%	
80	0,15	114.9	19.15%	
80	17.5 %	116.5	19.42%	
80	0,2	118.4	19.73%	
80	22.5 %	119.2	19.87%	19.35%
80	0,25	116.3	19.38%	
80	27.5 %	111.4	18.56%	
90	0,15	115.7	19.28%	
90	17.5 %	117.1	19.52%	
90	0,2	119.3	19.88%	
90	22.5 %		120	0,2 19.57%
90	0,25	117.8	19.63%	
90	27.5 %	114.9	19.15%	

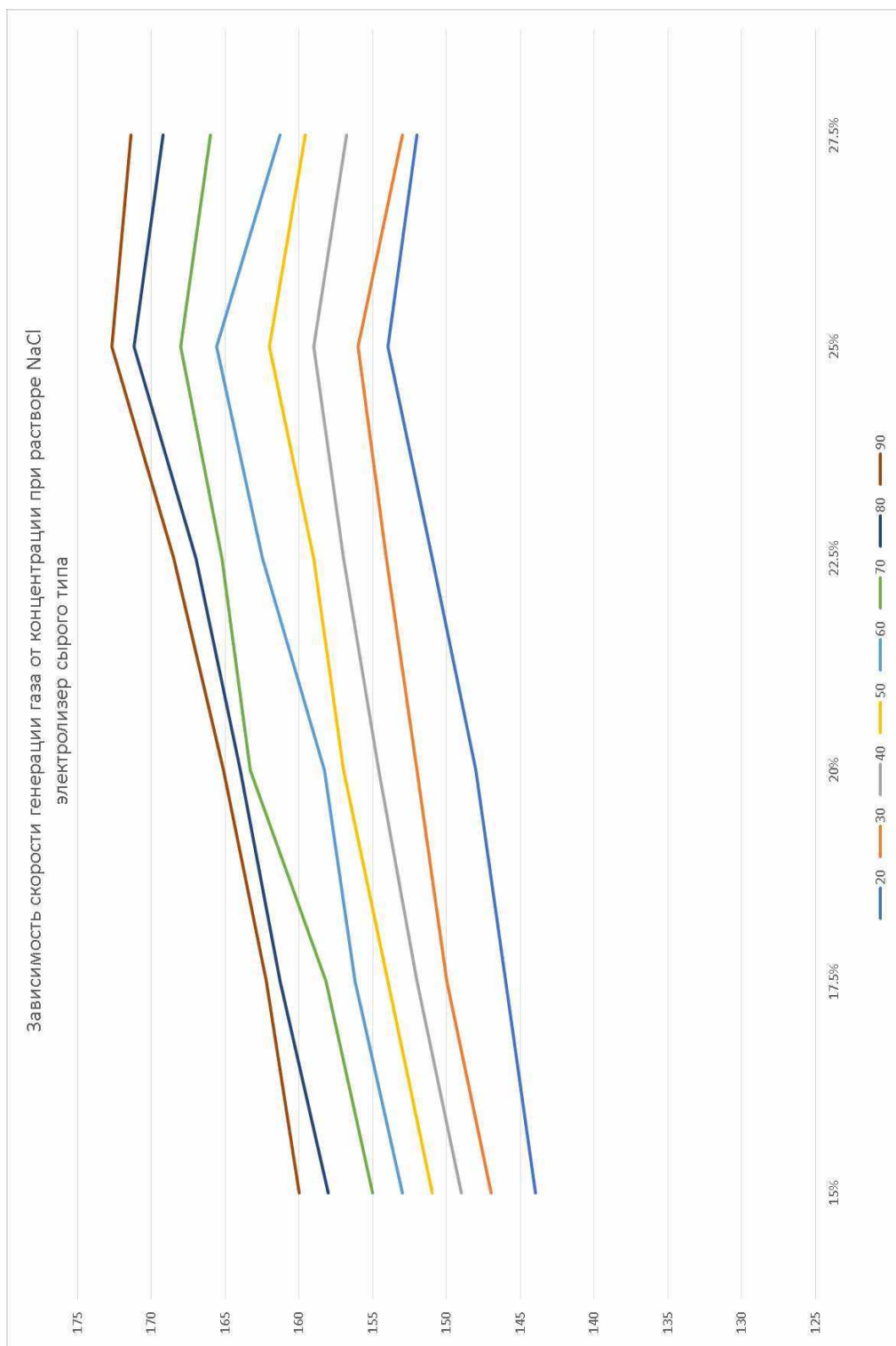
Приложение 2:



20	15%	144	24%	
20	17,50%	146	24.3%	
20	20%	148	24.66%	
20	22.5%	151	25.2%	24.86%
20	25%	154	25.66%	
20	27.5%	152	25.33%	
30	15%	147	24.5%	
30	17.5%	150	25%	
30	20%	152	25.33%	
30	22.5%	154.1	25.68%	25.34%
30	25%	156	26%	
30	27.5%	153	25.5%	
40	15%	149	24.83%	
40	17.5%	152	25.33%	
40	20%	154.6	25.76%	
40	22.5%	157	26.2%	25.8%
40	25%	159	26.5%	
40	27.5%	156.8	26.13%	
50	15%	151	25.2%	
50	17.5%	154	25.66%	
50	20%	157	26.2%	
50	22.5%	159	26.5%	26.2%
50	25%	162	27%	
50	27.5%	159.6	26.6%	

60	15%	153	25.5%	
60	17.5%	156.2	26.03%	
60	20%	158.3	26.38%	
60	22.5%	162.5	27.08%	26.58%
60	25%	165.6	27.6%	
60	27.5%	161.3	26.88%	
70	15%	155	25.83%	
70	17.5%	158.2	26.36%	
70	20%	163.3	27.22%	
70	22.5%	165.2	27.53%	27.1%
70	25%	168	28%	
70	27.5%	166	27.66%	
80	15%	158	26.33%	
80	17.5%	161.3	26.88%	
80	20%	164	27.33%	
80	22.5%	167	27.83%	27.52%
80	25%	171.2	28.53%	
80	27.5%	169.2	28.2%	
90	15%	160	26.66%	
90	17.5%	162.2	27.03%	
90	20%	165.1	27.52%	
90	22.5%	168.5	28.08%	27.78%
90	25%	172.7	28.83%	
90	27.5%	171.4	28.56%	

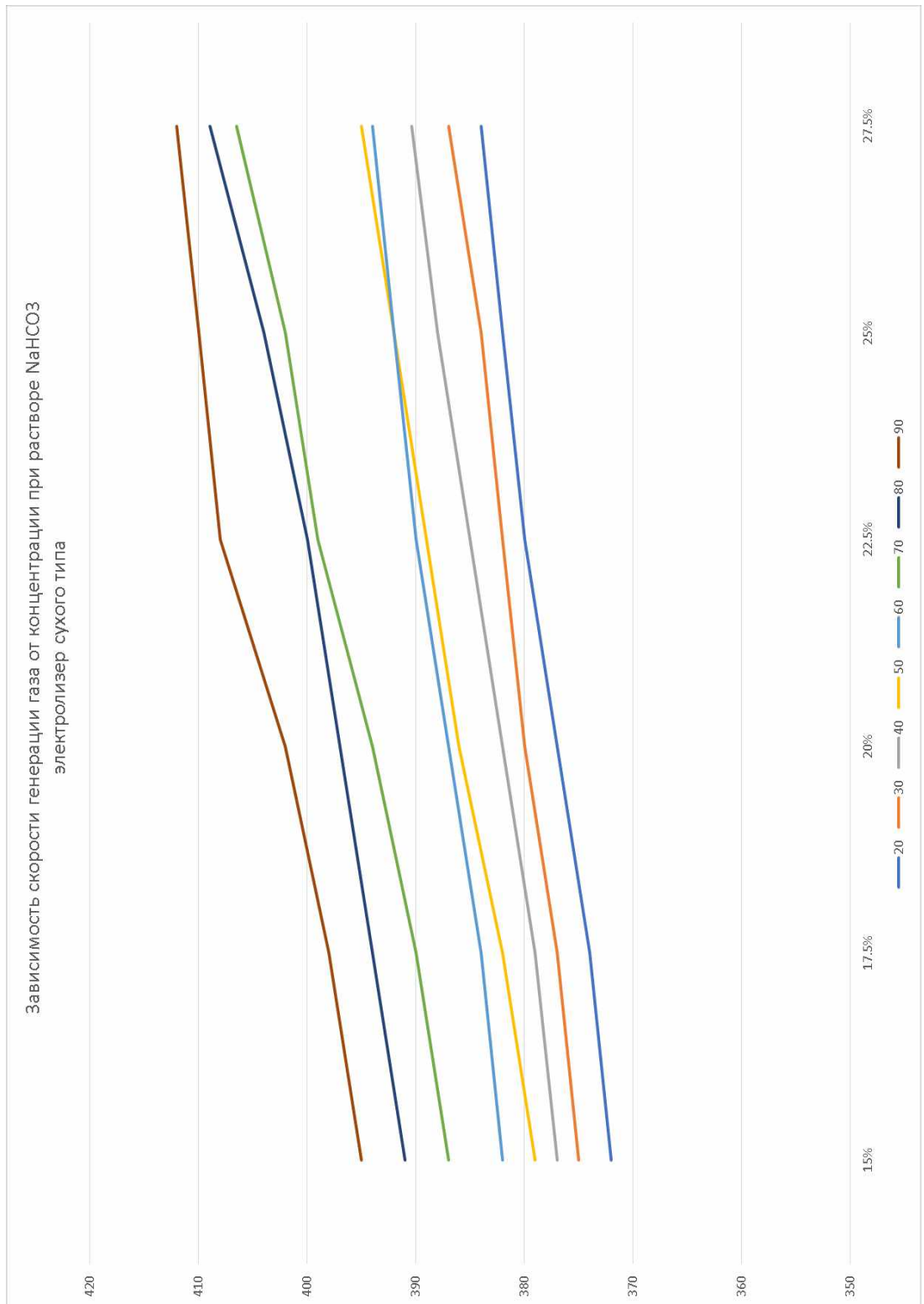
Приложение 3:



60	15%	153	25.5%	
60	17.5%	156.2	26.03%	
60	20%	158.3	26.38%	
60	22.5%	162.5	27.08%	26.58%
60	25%	165.6	27.6%	
60	27.5%	161.3	26.88%	
70	15%	155	25.83%	
70	17.5%	158.2	26.36%	
70	20%	163.3	27.22%	
70	22.5%	165.2	27.53%	27.1%
70	25%	168	28%	
70	27.5%	166	27.66%	
80	15%	158	26.33%	
80	17.5%	161.3	26.88%	
80	20%	164	27.33%	
80	22.5%	167	27.83%	27.52%
80	25%	171.2	28.53%	
80	27.5%	169.2	28.2%	
90	15%	160	26.66%	
90	17.5%	162.2	27.03%	
90	20%	165.1	27.52%	
90	22.5%	168.5	28.08%	27.78%
90	25%	172.7	28.83%	
90	27.5%	171.4	28.56%	

20	15%	144	24%	
20	17,50%	146	24.3%	
20	20%	148	24.66%	
20	22.5%	151	25.2%	24.86%
20	25%	154	25.66%	
20	27.5%	152	25.33%	
30	15%	147	24.5%	
30	17.5%	150	25%	
30	20%	152	25.33%	
30	22.5%	154.1	25.68%	25.34%
30	25%	156	26%	
30	27.5%	153	25.5%	
40	15%	149	24.83%	
40	17.5%	152	25.33%	
40	20%	154.6	25.76%	
40	22.5%	157	26.2%	25.8%
40	25%	159	26.5%	
40	27.5%	156.8	26.13%	
50	15%	151	25.2%	
50	17.5%	154	25.66%	
50	20%	157	26.2%	
50	22.5%	159	26.5%	26.2%
50	25%	162	27%	
50	27.5%	159.6	26.6%	

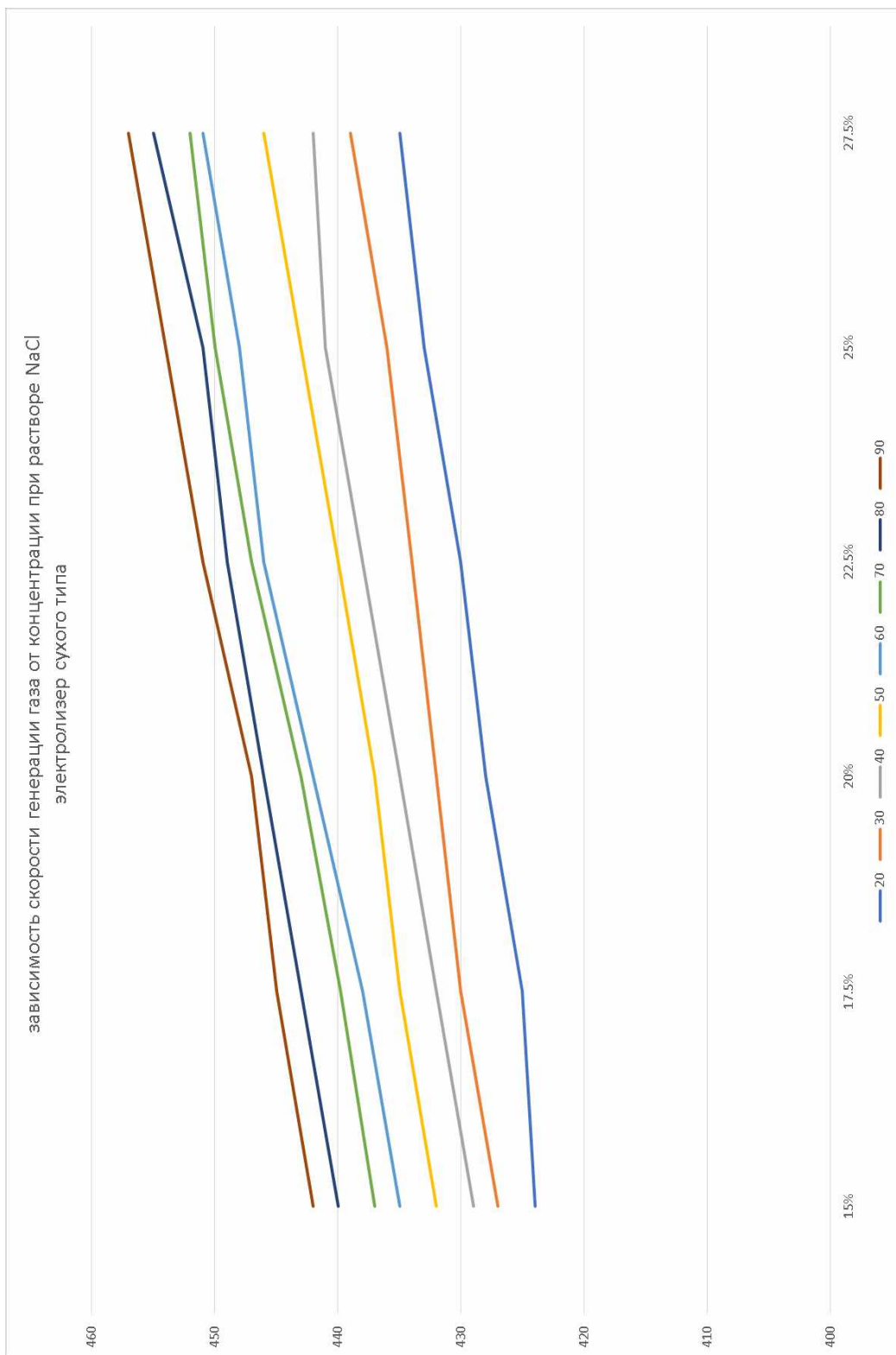
Приложение 4:



20	15%	372	62%	
20	17.5%	374	62.33%	
20	20%	377	62.83%	
20	22.5%	380	63.33%	63.03%
20	25%	382	63.66%	
20	27.5%	384	64%	
30	15%	375	62.5%	
30	17.5%	377	62.83%	
30	20%	380	63.33%	
30	22.5%	382	63.66%	63.47%
30	25%	384	64%	
30	27.5%	387	64.5%	
40	15%	377	62.83%	
40	17.5%	379	63.16%	
40	20%	382	63.66%	
40	22.5%	385	64.16%	63.93%
40	25%	388	64.66%	
40	27.5%	390.4	65.06%	
50	15%	379	63.16%	
50	17.5%	382	63.66%	
50	20%	386	64.33%	
50	22.5%	389	64.83%	64.52%
50	25%	392	65.33%	
50	27.5%	395	65.83%	

60	15%	382	63.66%	
60	17.5%	384	64%	
60	20%	387	64.5%	
60	22.5%	390	65%	64.69%
60	25%	392	65.33%	
60	27.5%	394	65.66%	
70	15%	387	64.5%	
70	17.5%	390	65%	
70	20%	394	65.66%	
70	22.5%	399	66.5%	66.06%
70	25%	402	67%	
70	27.5%	406.5	67.75%	
80	15%	391	65.16%	
80	17.5%	394	65.66%	
80	20%	397	66.16%	
80	22.5%	400	66.66%	66.52%
80	25%	404	67.33%	
80	27.5%	409	68.16%	
90	15%	395	65.83%	
90	17.5%	398	66.33%	
90	20%	402	67%	
90	22.5%	408	68%	67.36%
90	25%	410	68.33%	
90	27.5%	412	68.66%	

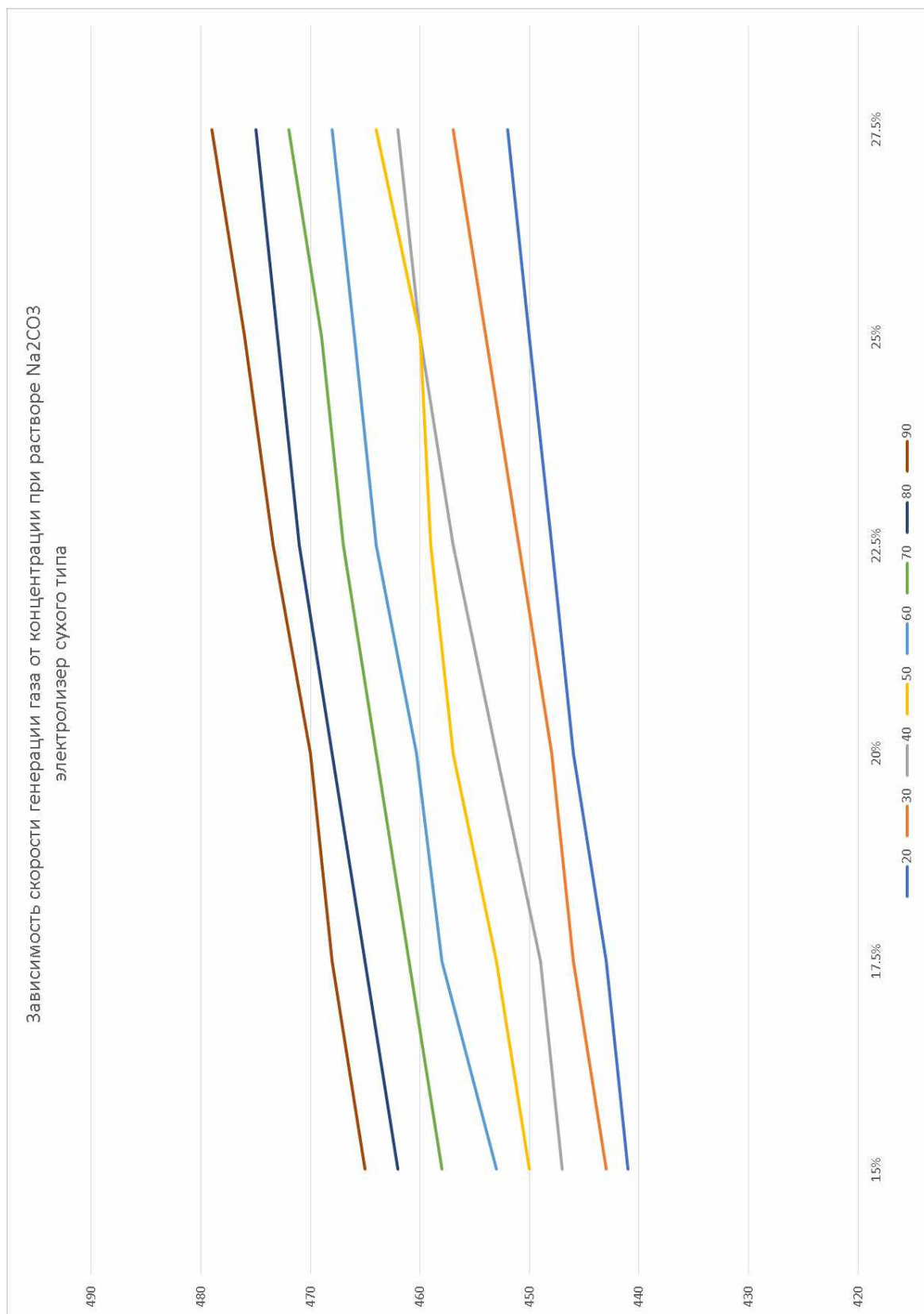
Приложение 5:



20	15%	424	70.66%	
20	17.5%	425	70.83%	
20	20%	428	71.33%	
20	22.5%	430	71.66%	71.52%
20	25%	433	72.16%	
20	27.5%	435	72.5%	
30	15%	427	71.16%	
30	17.5%	430	71.66%	
30	20%	432	72%	
30	22.5%	434	72.33%	72.16%
30	25%	436	72.66%	
30	27.5%	439	73.16%	
40	15%	429	71.5%	
40	17.5%	432	72%	
40	20%	435	72.5%	
40	22.5%	438	73%	72.69%
40	25%	441	73.5%	
40	27.5%	442	73.66%	
50	15%	432	72%	
50	17.5%	435	72.5%	
50	20%	437	72.83%	
50	22.5%	440	73.33%	73.14%
50	25%	443	73.83%	
50	27.5%	446	74.33%	

60	15%	435	72.5%	
60	17.5%	438	73%	
60	20%	442	73.66%	
60	22.5%	446	74.33%	73.89%
60	25%	448	74.66%	
60	27.5%	451	75.16%	
70	15%	437	72.83%	
70	17.5%	439,8	73.3%	
70	20%	443	73.83%	
70	22.5%	447	74.5%	74.13%
70	25%	450	75%	
70	27.5%	452	75.33%	
80	15%	440	73.33%	
80	17.5%	443	73.83%	
80	20%	446	74.33%	
80	22.5%	449	74.83%	74.55%
80	25%	451	75.16%	
80	27.5%	455	75.83%	
90	15%	442	73.66%	
90	17.5%	445	74.16%	
90	20%	447	74.5%	
90	22.5%	451	75.16%	74.88%
90	25%	454	75.66%	
90	27.5%	457	76.16%	

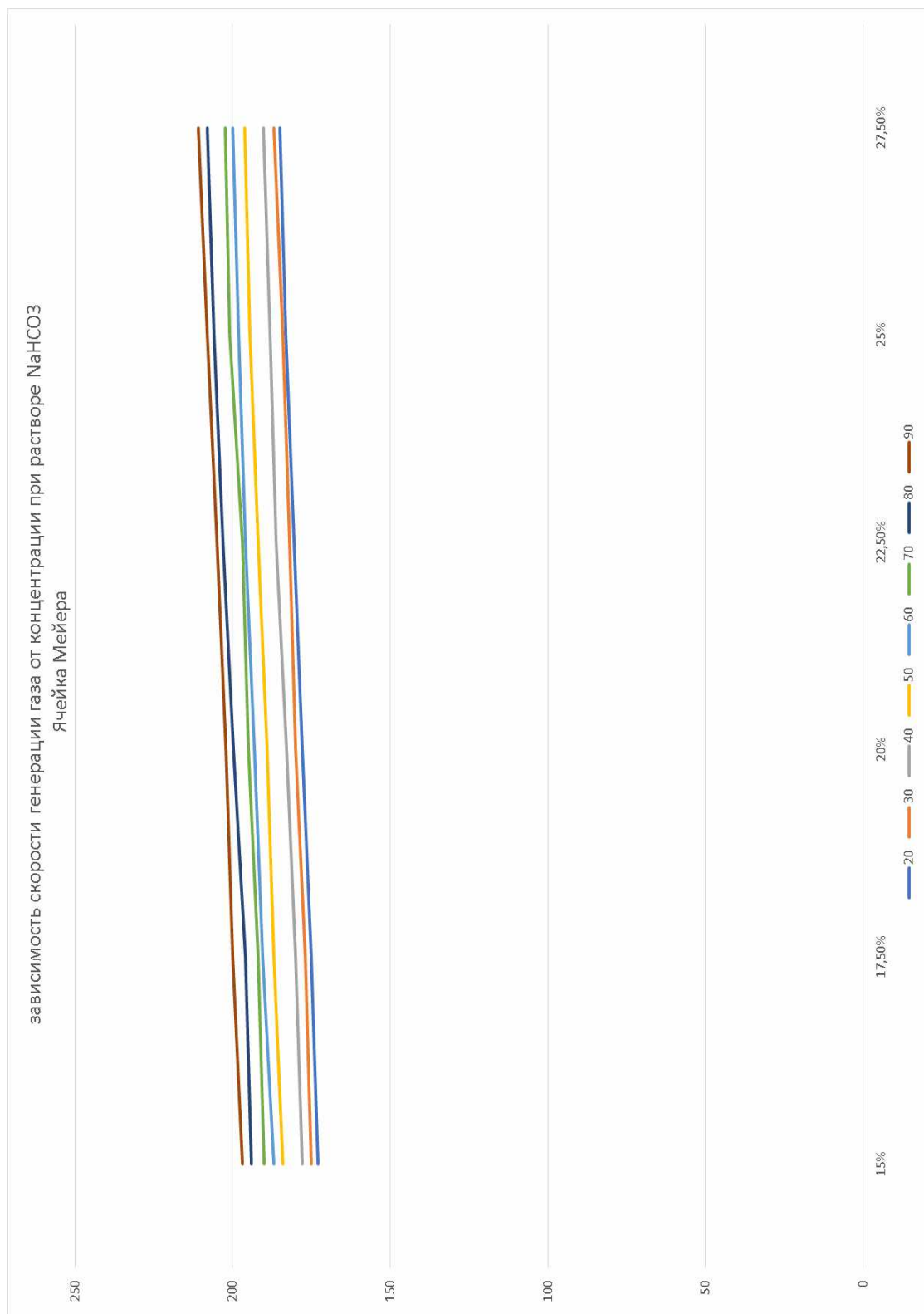
Приложение 6:



20	15%	441	73.5%	
20	17.5%	443	73.83%	
20	20%	446	74.33%	
20	22.5%	448	74.66%	74.44%
20	25%	450	75%	
20	27.5%	452	75.33%	
30	15%	443	73.83%	
30	17.5%	446	74.33%	
30	20%	448	74.66%	
30	22.5%	451	75.16%	74.97%
30	25%	454	75.66%	
30	27.5%	457	76.16%	
40	15%	447	74.5%	
40	17.5%	449	74.83%	
40	20%	453	75.5%	
40	22.5%	457	76.16%	75.78%
40	25%	460	76.66%	
40	27.5%	462	77%	
50	15%	450	75%	
50	17.5%	453	75.5%	
50	20%	457	76.16%	
50	22.5%	459	76.5%	76.19%
50	25%	460	76.66%	
50	27.5%	464	77.33%	

60	15%	453	75.5%		
60	17.5%		458	76.33%	
60	20%	460.3		76.71%	
60	22.5%		464	77.33%	76.92%
60	25%		466	77.66%	
60	27.5%		468	78%	
70	15%		458	76.33%	
70	17.5%		461	76.83%	
70	20%		464	77.33%	
70	22.5%		467	77.83%	77.52%
70	25%		469	78.16%	
70	27.5%		472	78.66%	
80	15%		462	77%	
80	17.5%		465	77.5%	
80	20%		468	78%	
80	22.5%		471	78.5%	78.17%
80	25%		473	78.83%	
80	27.5%		475	79.16%	
90	15%		465	77.5%	
90	17.5%		468	78%	
90	20%		470	78.33%	
90	22.5%	473.4		78.9%	78.65%
90	25%		476	79.33%	
90	27.5%		479	79.83%	

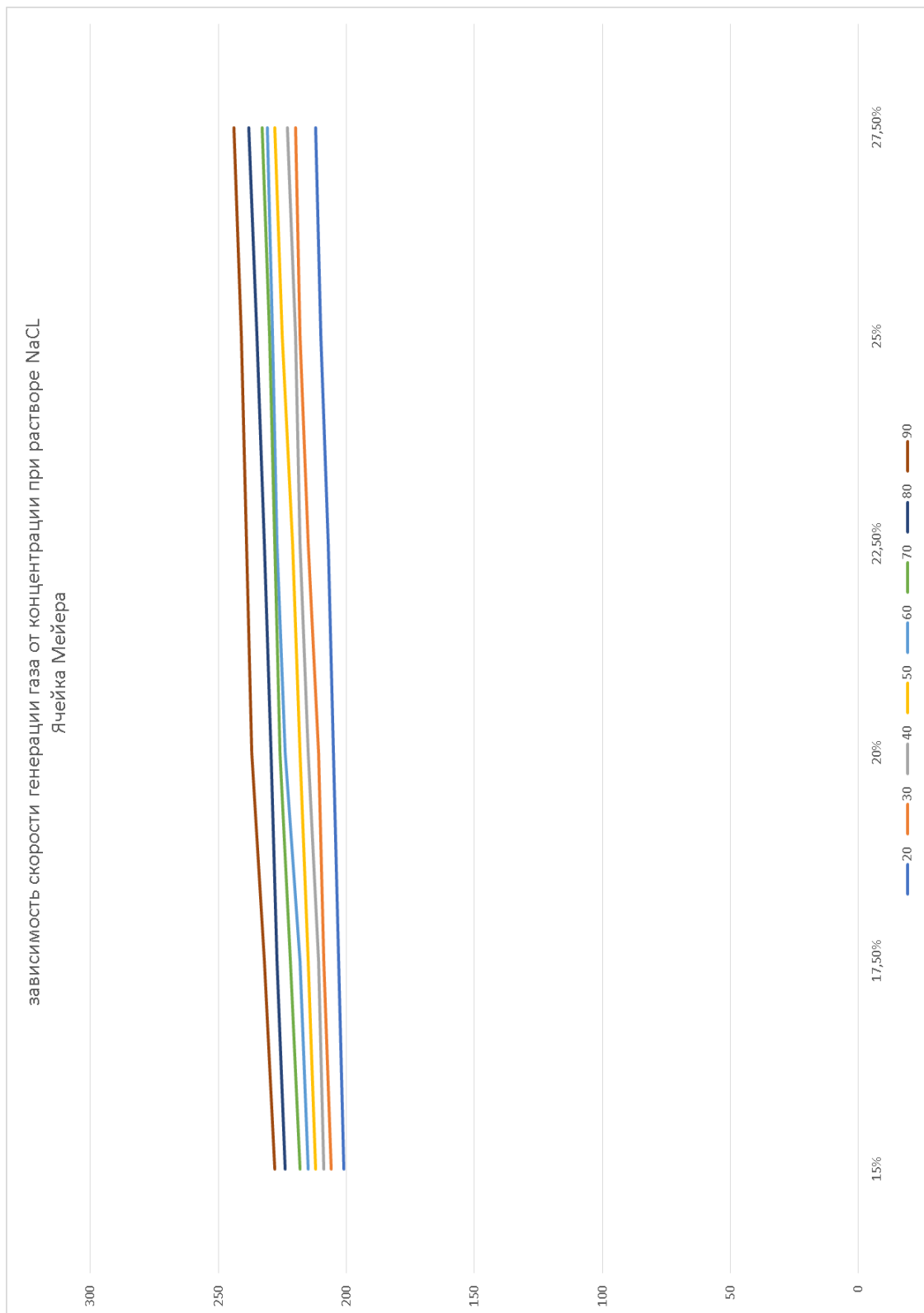
Приложение 7:



20	15%	173	28.83%		
20	17.5%		175	29.16%	
20	20%		178	29.66%	
20	22.5%	180.4	30.06%	29.84%	
20	25%	183.1	30.52%		
20	27.5%		185	30.83%	
30	15%		175	29.16%	
30	17.5%		177	29.5%	
30	20%		180	30%	
30	22.5%		182	30.33%	30.14%
30	25%		184	30.66%	
30	27.5%		187	31.16%	
40	15%		178	29.66%	
40	17.5%		180	30%	
40	20%		183	30.5%	
40	22.5%	186.1	31.02%	30.70%	
40	25%		188	31.33%	
40	27.5%	190.2	31.7%		
50	15%		184	30.66%	
50	17.5%		187	31.16%	
50	20%		189	31.5%	
50	22.5%		192	32%	31.73%
50	25%	194.4	32.4%		
50	27.5%	196.1	32.68%		

60	15%	187	31.16%	
60	17.5%	190.5	31.75%	
60	20%	193	32.16%	
60	22.5%	196	32.66%	32.34%
60	25%	198	33%	
60	27.5%	200	33.33%	
70	15%	190	31.66%	
70	17.5%	192	32%	
70	20%	195	32.5%	
70	22.5%	197	32.83%	32.70%
70	25%	201	33.5%	
70	27.5%	202.4	33.73%	
80	15%	194	32.33%	
80	17.5%	196	32.66%	
80	20%	199.8	33.3%	
80	22.5%	203	33.83%	33.52%
80	25%	206	34.33%	
80	27.5%	208	34.66%	
90	15%	197	32.83%	
90	17.5%	200	33.33%	
90	20%	202	33.66%	
90	22.5%	205	34.16%	33.97%
90	25%	208	34.66%	
90	27.5%	211	35.16%	

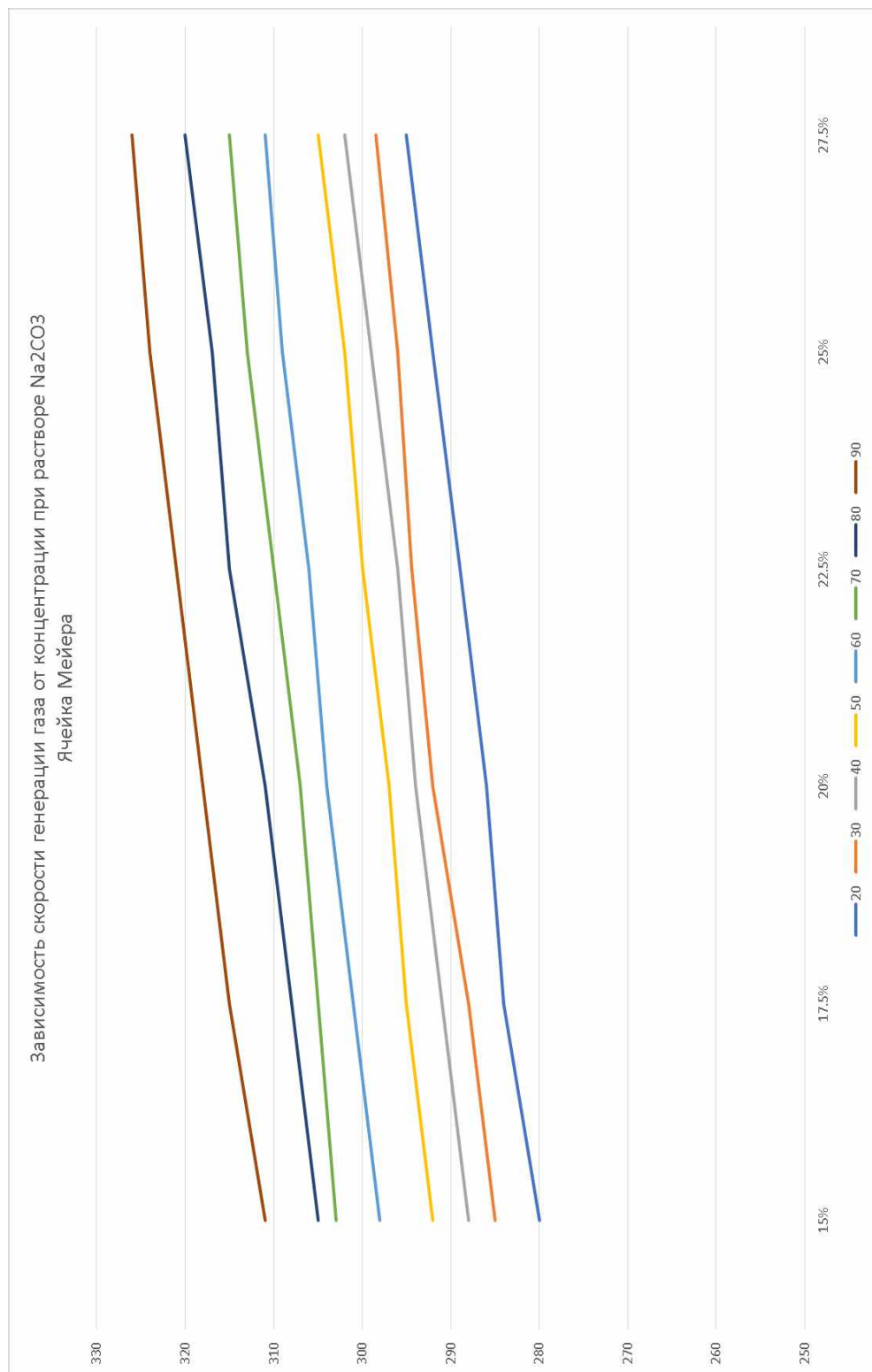
Приложение 8:



20	15%	201	33.5%	
20	17.5%	203	33.83%	
20	20%	205	34.16%	
20	22.5%	207	34.5%	34.39%
20	25%	210	35%	
20	27.5%	212	35.33%	
30	15%	206	34.33%	
30	17.5%	209	34.83%	
30	20%	211	35.16%	
30	22.5%	215	35.83%	35.52%
30	25%	218	36.33%	
30	27.5%	220	36.66%	
40	15%	209	34.83%	
40	17.5%	210	35%	
40	20%	212	35.33%	
40	22.5%	216	36%	35.83%
40	25%	220	36.66%	
40	27.5%	223	37.16%	
50	15%	212	35.33%	
50	17.5%	215	35.83%	
50	20%	218	36.33%	
50	22.5%	221	36.83%	36.64%
50	25%	225	37.5%	
50	27.5%	228	38%	

60	15%	215	35.83%	
60	17.5%	218	36.33%	
60	20%	224	37.33%	
60	22.5%	227	37.83%	37.33%
60	25%	229	38.16%	
60	27.5%	231	38.5%	
70	15%	218	36.33%	
70	17.5%	222	37%	
70	20%	226	37.66%	
70	22.5%	228	38%	37.69%
70	25%	230	38.33%	
70	27.5%	233	38.83%	
80	15%	224	37.33%	
80	17.5%	227	37.83%	
80	20%	229.5	38.25%	
80	22.5%	232	38.66%	38.48%
80	25%	235	39.16%	
80	27.5%	238.2	39.7%	
90	15%	228	38%	
90	17.5%	232	38.66%	
90	20%	237	39.5%	
90	22.5%	239	39.83%	39.47%
90	25%	241	40.16%	
90	27.5%	244	40.66%	

Приложение 9:



20	15%	280	46.6%	
20	17.5%	284	47.33%	
20	20%	286	47.66%	
20	22.5%	289	48.16%	47.93%
20	25%	292	48.66%	
20	27.5%	295	49.16%	
30	15%	285	47.5%	
30	17.5%	288	48%	
30	20%	292	48.6%	
30	22.5%	294.4	49.06%	48.70%
30	25%	296	49.33%	
30	27.5%	298.5	49.75%	
40	15%	288	48%	
40	17.5%	291	48.5%	
40	20%	294	49%	
40	22.5%	296	49.33%	49.17%
40	25%	299	49.83%	
40	27.5%	302	50.33%	
50	15%	292	48.66%	
50	17.5%	295	49.16%	
50	20%	297	49.5%	
50	22.5%	300	50%	49.75%
50	25%	302	50.33%	
50	27.5%	305	50.83%	

60	15%	298	49.66%	
60	17.5%	301	50.16%	
60	20%	304	50.66%	
60	22.5%	306	51%	50.8%
60	25%	309	51.5%	
60	27.5%	311	51.83%	
70	15%	303	50.5%	
70	17.5%	305	50.83%	
70	20%	307	51.16%	
70	22.5%	310	51.66%	51.47%
70	25%	313	52.16%	
70	27.5%	315	52.5%	
80	15%	305	50.83%	
80	17.5%	308	51.33%	
80	20%	311	51.83%	
80	22.5%	315	52.5%	52.11%
80	25%	317	52.83%	
80	27.5%	320	53.33%	
90	15%	311	51.83%	
90	17.5%	315	52.5%	
90	20%	318	53%	
90	22.5%	321	53.5%	53.19%
90	25%	324	54%	
90	27.5%	326	54.33%	

Список литературы:

- Stanley Meyer. «The Birth of New Technology. Water Fuel Cell», 1992 г.
- Патент US 4 936 961 А.

Автор: Stanley Meyer, 26.06.1990 г.

- А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. «Курс физики», 2002 г.
- Н.А. Костин, В.С. Кублановский. «Импульсный электролиз», 1989 г.
- Г.С. Лансберг. «Элементарный учебник физики», 1975 г.
- Б.Е. Гельфанд. «Водород. Параметры горения и взрыва», 2000 г.
- Л.М. Якименко. «Электролиз воды», 1970 г.
- А.С. Коняев. «Электролиз и электролизеры», 2022 г.
- А.С. Коняев. «Электролизеры: теория, нюансы, изготовление», 2022 г.
- Сайт AlexLabShop – книги на тему электролиза
<https://alexlabshop.ru/>
- Ютуб-канал AlexBurkan
<https://www.youtube.com/channel/UCah9pzaxpAeDLQ20hcufc2g>