

«Перспективные способы утилизации. Использование бактерий для переработки пластика. Разработка специального устройства»

Скворцов Евгений Денисович

Россия, Мурманская область, г. Мурманск, МБОУ г. Мурманска «Гимназия№7», 10А

класс

Научная статья

Прежде чем начать рассказ я хотел бы объяснить, почему выступаю в категории физики. Всё очень просто: моя работа прежде всего заключается в создании специального устройства, механизмов работы оборудования и условий для полной утилизации пластика с использованием бактерий. Детальное изучение самого процесса преобразования, изменения исходного материала, мусора – то есть, пластика, являлось вторичным этапом в моей работе.

Одной из самых актуальных проблем в мире считается проблема загрязнения Земли полимерными отходами. И ведь дело даже не в объёмах, количестве или в постоянном увеличении пластиковых отходов, а в том, что нет эффективного, безопасного и экологически чистого, пригодного для повсеместного использования способа их утилизации.

И вот, относительно недавно, было выдвинуто предположение, что микроорганизмы вскоре будут способны избавить мир от такой проблемы. На сегодняшний день такой способ утилизации является лишь мечтой, хотя, безусловно, проводится множество исследований с целью воплощения данной идеи, а точнее, с целью приближения дня, когда эта мысль сможет стать реальностью.

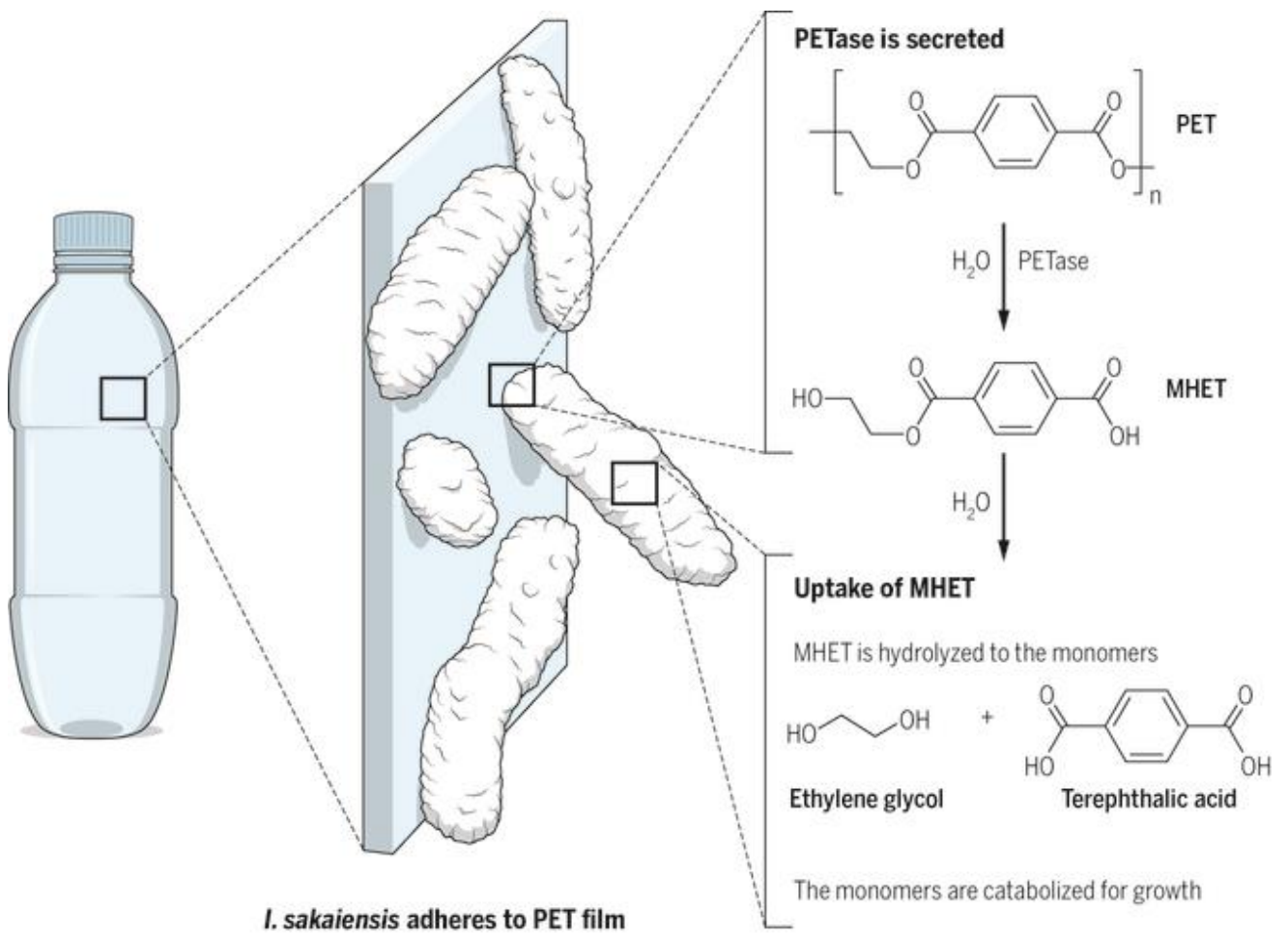
Каждый год по всему миру производится 359 млн тонн пластика, 150-200 млн из которых затем оказываются на мусорных полигонах. Около 70 млн из них - из полиэтилентерефталата, самого распространенного вида пластика. ПЭТ в его чистом виде используют в пищевой индустрии. Из него изготавливают бутылки, фольгу, упаковку для продуктов питания. Кроме того, из прочного и не мнущегося полиэстера производят текстильное волокно.

Однако, дело в том, что ПЭТ практически невозможно использовать как вторсырье. В ходе термомеханических процессов материал теряет свои основные характеристики, и из него можно делать лишь дешевое сырье для изготовления коврового покрытия.

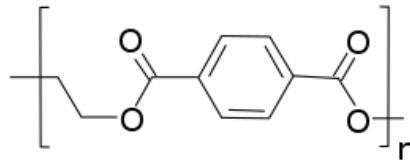
Японские ученые из Института технологий в Киото в 2016 году обнаружили, что определенные микроорганизмы могут разлагать пластик. Они провели

исследование сточных вод на одной из станций по утилизации бутылок из полиэтилентерефталата и нашли в них бактерию *Ideonella sakaiensis* 201-F6. *Ideonella sakaiensis* — вид грамотрицательных бактерий из группы протеобактерий. В ходе исследования было доказано, что она способна полностью разрушить полиэтилентерефталат (PET, самый распространенный вид пластика), используемый в бутылках и других емкостях. Так как PET составляет большую часть всех пластиковых отходов на планете, ученые стараются разработать технологии, которые могли бы существенно уменьшить количество пластиковых отходов и, следовательно, уменьшить загрязнение окружающей среды.

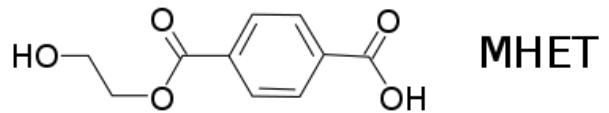
Бактерии способны гидролизовать пластик с помощью двух специальных ферментов (они используют полимер для получения энергии). Гидролиз полимера происходит в две стадии. На первой он превращается в низкомолекулярное вещество, моногидроксиэтиловый эфир терефталевой кислоты. За это превращение отвечает фермент, названный учеными ПЭТазой (ISF 6_4831). Затем происходит разложение мономера с помощью следующего фермента, МЭТаза (ISF6_0224) — в результате образуется лишь безвредная терефталевая кислота и этиленгликоль, дальнейшие превращения которых хорошо описаны. Эти вещества являются безопасными для природы, окружающей среды, а значит, такой способ переработки пластика экологически чист и абсолютно безвреден.



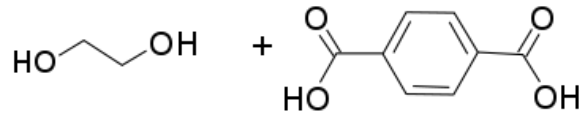
Plastique PET
(Polyethylene terephthalate)



H₂O | PETase

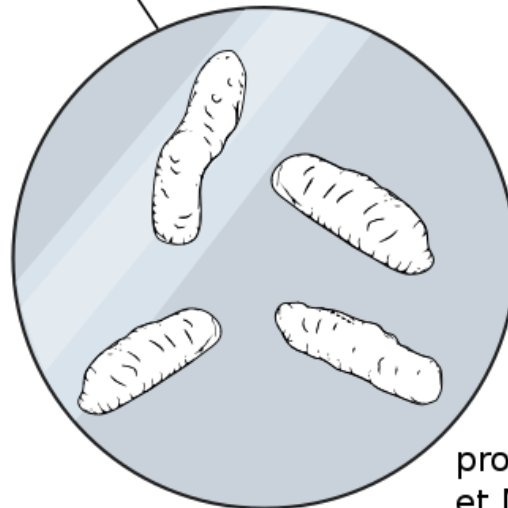
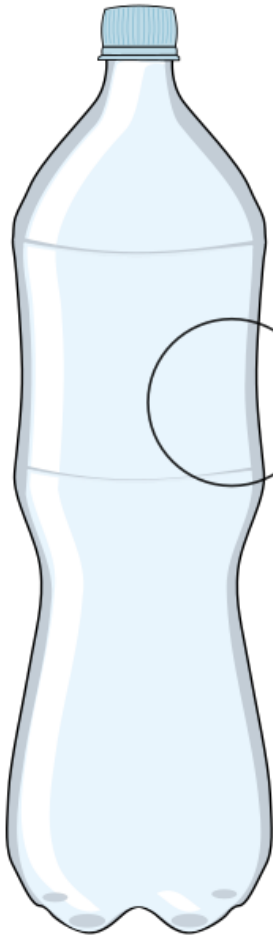


H₂O | MHETase



Ethylène glycol **Acide téréphtalique**

utilisés pour la croissance de la bactérie



produit PETase
et MHETase

Процесс разложения совсем небольшого количества пластика занимал от 2 до 6 недель, при температуре 30^С.

Поскольку самостоятельно бактерии способны разлагать пластик более года, ученые из Университета Портсмута продолжили исследование, в ходе которого, по счастливому стечению обстоятельств, обнаружили новый фермент, который разлагает пластик гораздо быстрее. Результаты этого исследования были представлены в специализированном издании *Proceedings of the American Academy of Sciences (PNAS)*, также об этой бактерии выходила статья в известном научном журнале *Science*. Вид пластика, являющийся любимым лакомством *Ideonella sakaiensis*, – полиэтилентерефталат – характеризуется легкостью, прочностью и способностью удерживать жидкость. Этот материал очень часто используется для изготовления емкостей для жидких продуктов – разнообразные контейнеры и бутылки.

Считается, что для полного разложения обычной пластиковой бутылки требуется около 450 лет, и, хотя некоторые виды пластмасс разлагаются в океане быстрее, в процессе распада они выделяют вредные химические вещества, что еще больше усугубляет экологическую ситуацию.

Уже давно известно, что определенные виды грибков могут расщеплять не только ПЭТ, но полиуретан. Из него ежегодно производится миллионы тонн различного сырья и материалов. Полиуретан используется, например, для производства строительных материалов, кухонных мочалок, памперсов, спортивной обуви и многого другого.

Мусор из полиуретана обычно не используют как вторсырье, а сжигают. Но в процессе горения выделяются ядовитые, способные вызывать онкологические заболевания химические вещества, которые убивают большинство бактерий.

Правда, как выяснили ученые, одному виду бактерий, который был обнаружен на мусорном полигоне и был представлен учеными Центра по исследованию проблем окружающей среды имени Гельмгольца в Лейпциге, это не грозит. Этот вид бактерий происходит из штамма *Pseudomonas* и способен выживать при самых высоких температурах и в кислой среде. Ученые считают, что бактерии способны адаптироваться к различным условиям среды обитания гораздо быстрее, чем какие-либо другие живые организмы, это происходит за счёт мутаций. А значит, данная бактерия вполне может мутировать таким образом, что в дальнейшем она будет также помогать с утилизацией мусора.

Таким образом, можно резюмировать, что на данный момент существует один вид бактерий, уже вполне способный перерабатывать пластиковые отходы в

экологически безвредные вещества, а также, можно уже уверенно заявлять, что за бактериями – будущее в переработке мусора, так как развитие данного направления в экологии мне кажется весьма перспективным.

Эти вещества безвредны для окружающей среды, то есть, для природы, а значит, такой способ переработки пластика экологически чист и абсолютно безвреден.

Главные проблемы в данном способе утилизации с использованием бактерий:

- долгое время переваривания материала бактериями.
- нет зачастую достаточно благоприятных условий для данного процесса переработки пластика.
- практически невозможное применение бактерий в открытых пространствах (полигонах, свалках и т.д.).

Основные плюсы от использования данного способа утилизации:

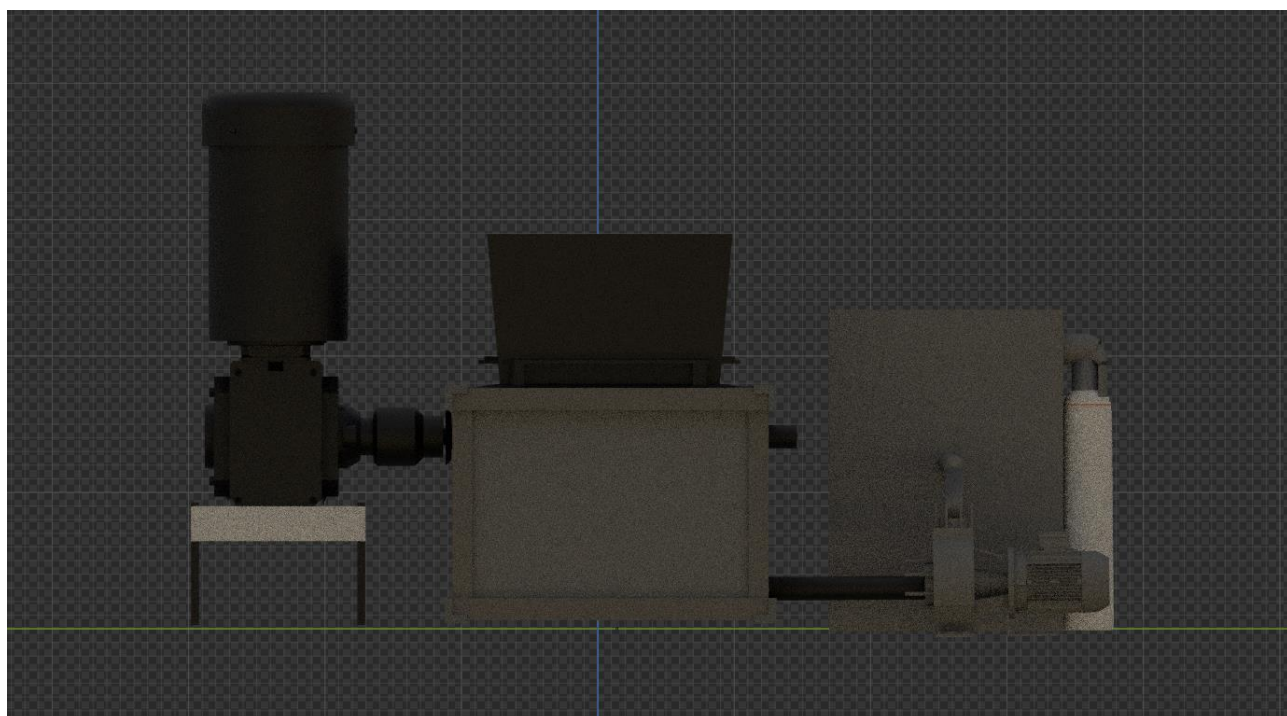
- абсолютно экологически чистая и безопасная переработка;
- дешевизна бактерий;
- относительная доступность к исследованиям, информации и базе данных.

Изучая материал моего исследования, я пришёл к выводу, что использование бактерий — это более чем эффективный и перспективный метод избавления от пластиковых отходов, необходимо лишь создать специальные условия для повышения эффективности и ускорения процесса.

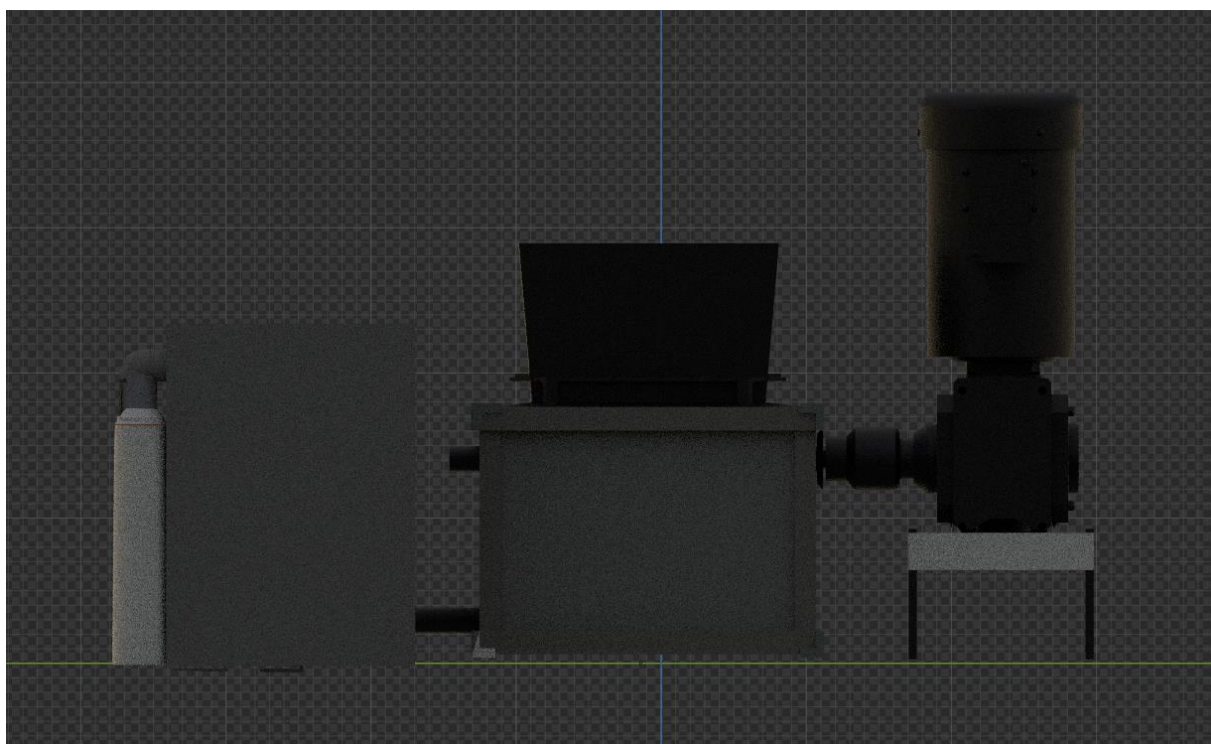
Также, было бы неплохо разработать специальное устройство и систему, которые, можно было бы уже использовать на производствах. Этим я и решил заняться, разрабатывая модель устройства, продумывая её систему работы и стоимость.

Понятно, что при исследовании бралось совсем небольшое количество пластика и бактерий и, при этом, процесс длился и так достаточно долго. Но, что, если создать специальные благоприятные условия для поддержания жизни, а в следствии, переработки, переваривания полимера и использовать множество этих самых бактерий? Я задался этим вопросом и начал вторую часть своей работы – разработка специального устройства для переработки пластика с помощью бактерий (см. схему 1).

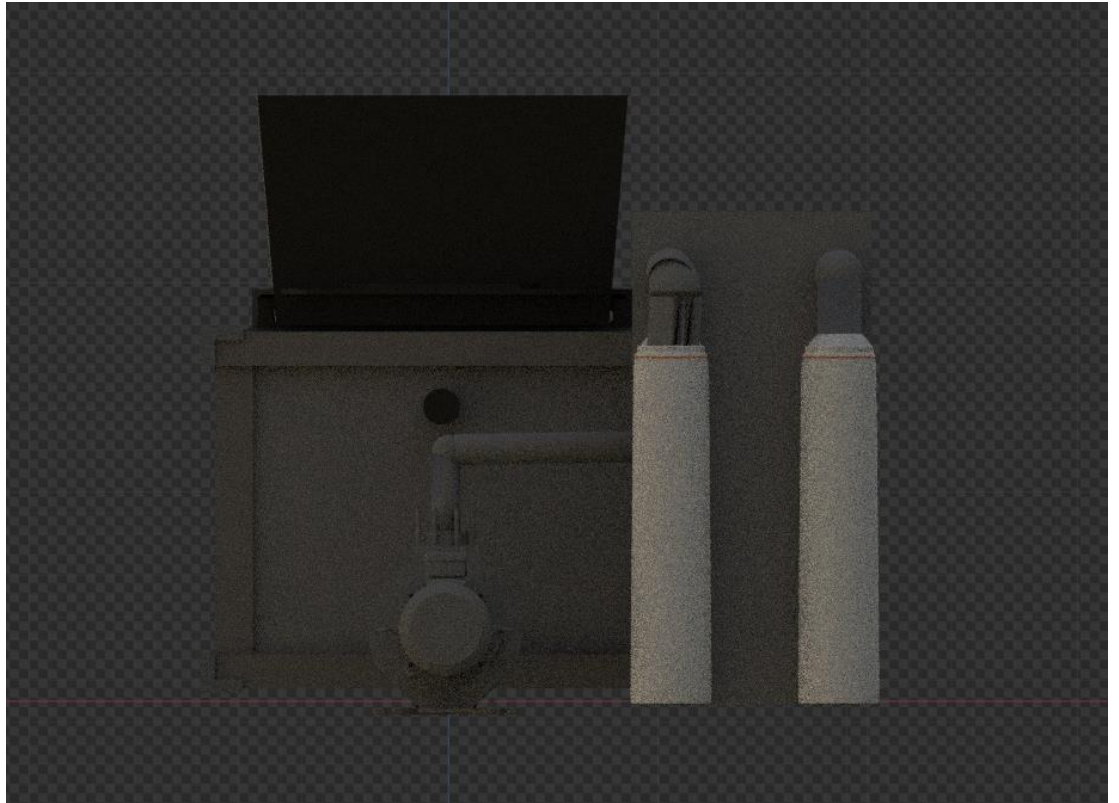
Схема 1



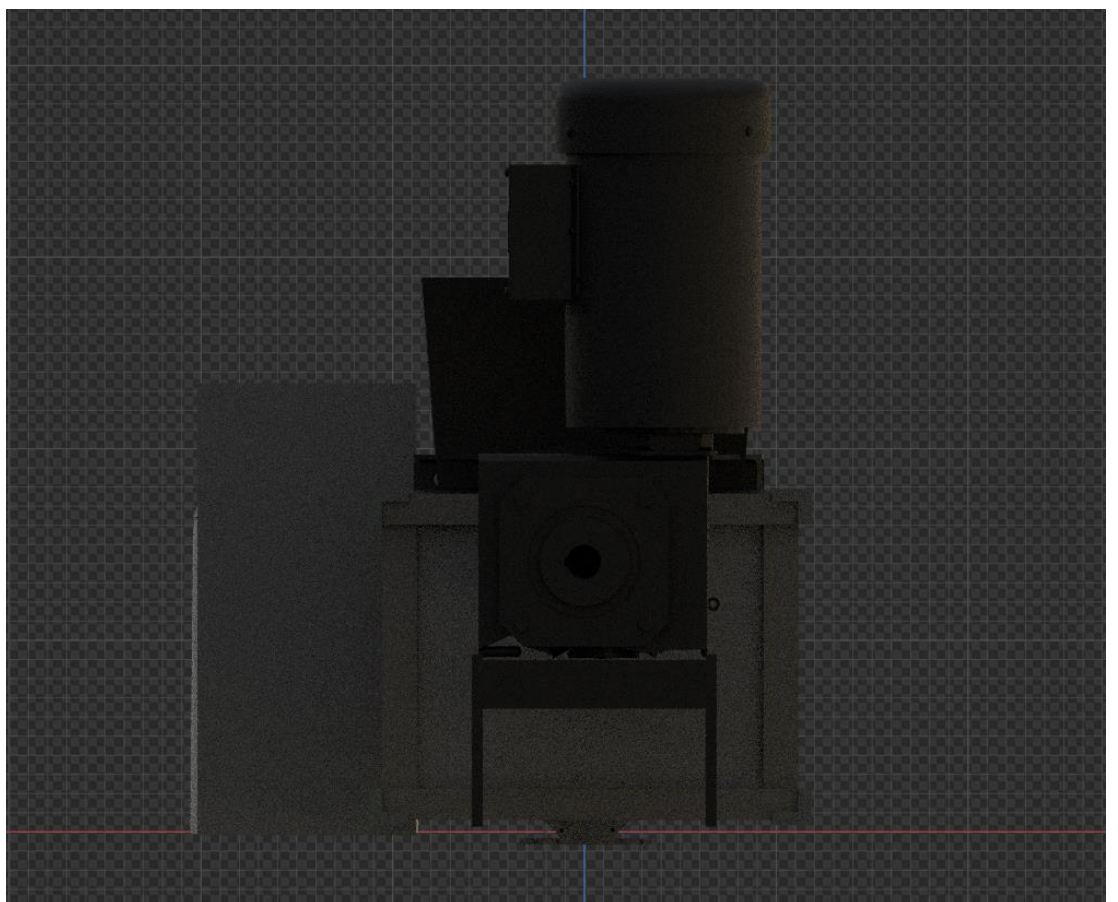
Вид спереди



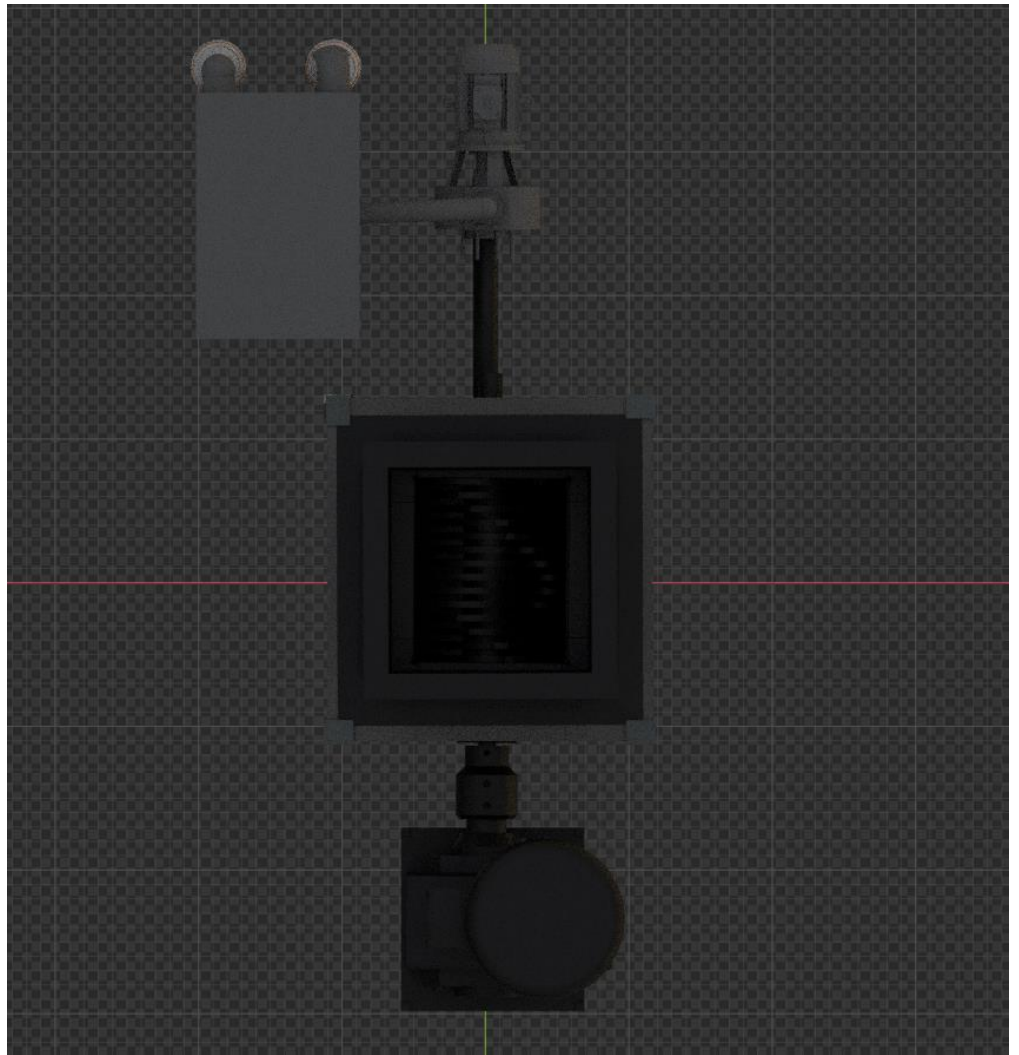
Вид сзади



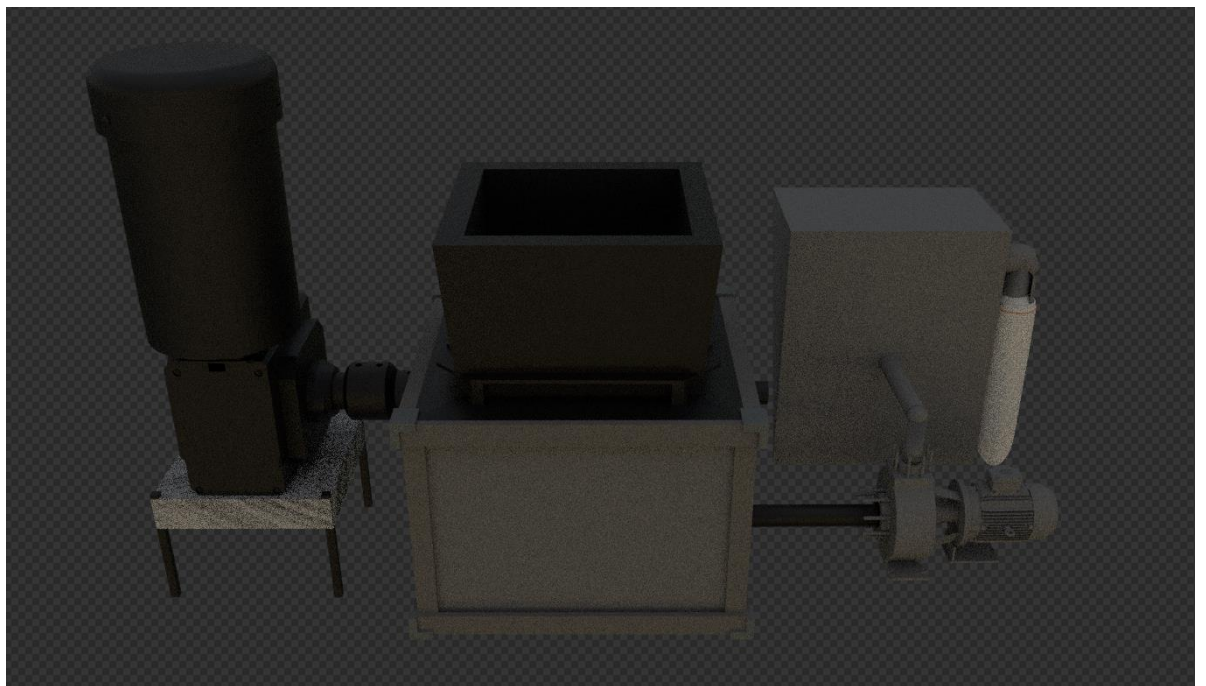
Вид сбоку 1



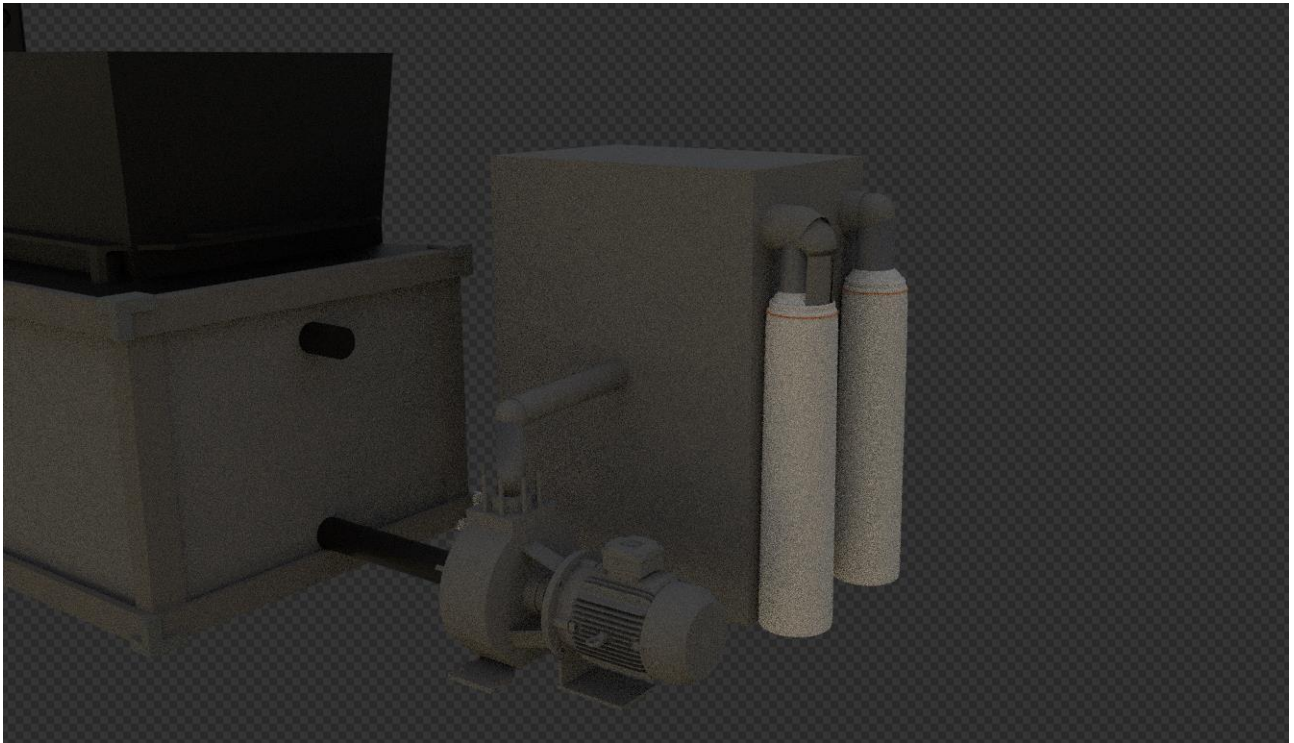
Вид сбоку 2



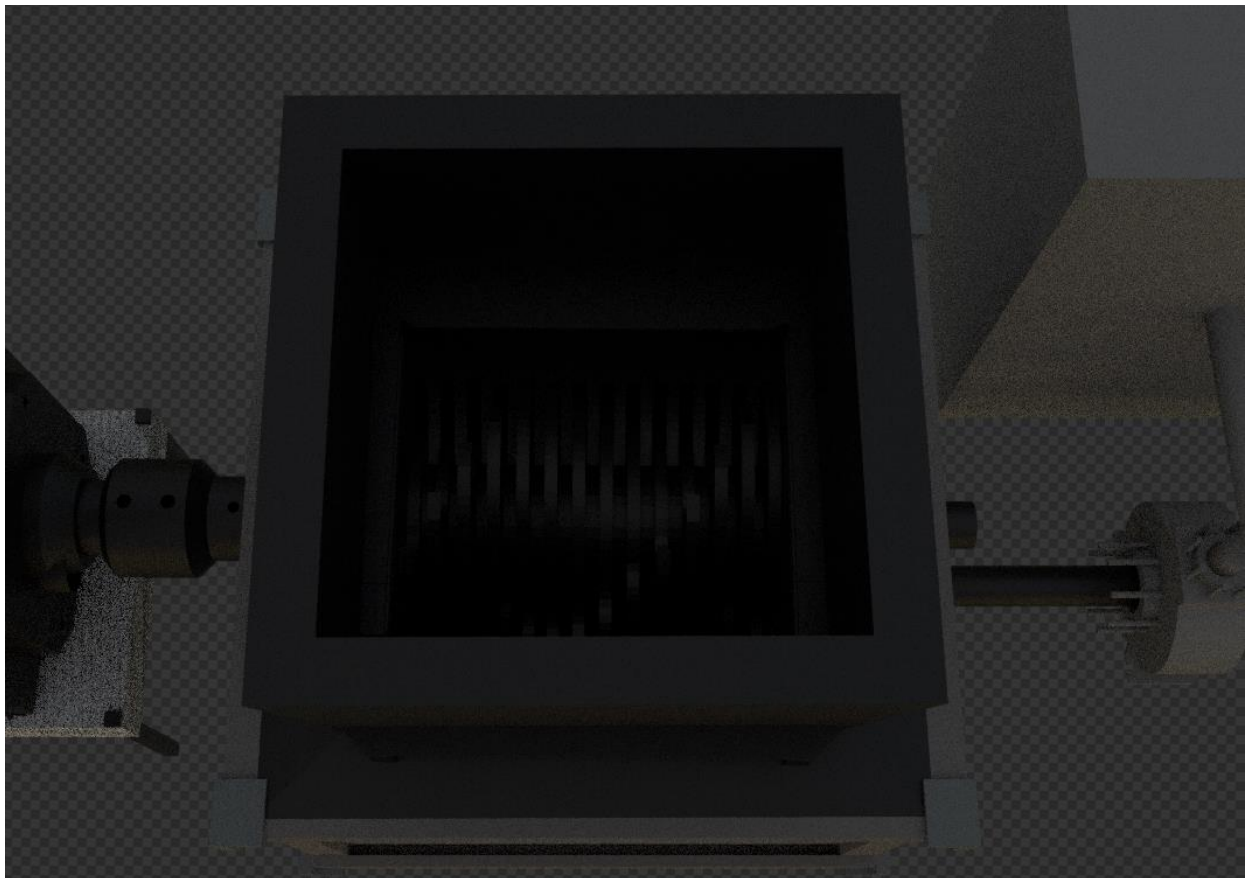
Вид сверху



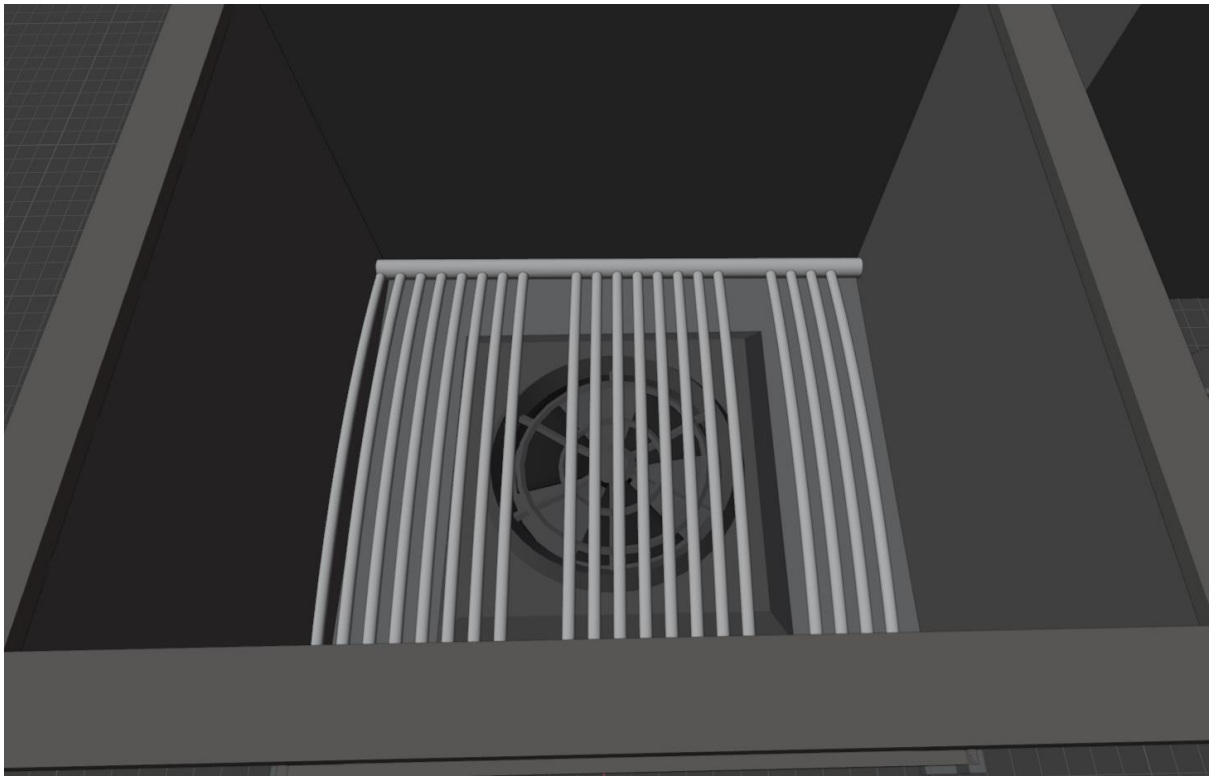
Дополнительное изображение 1



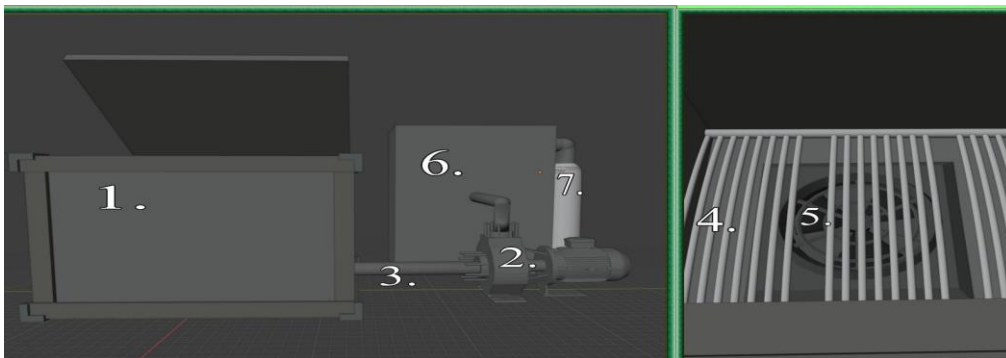
Дополнительное изображение 2



Дополнительное изображение 3



Вид изнутри контейнера



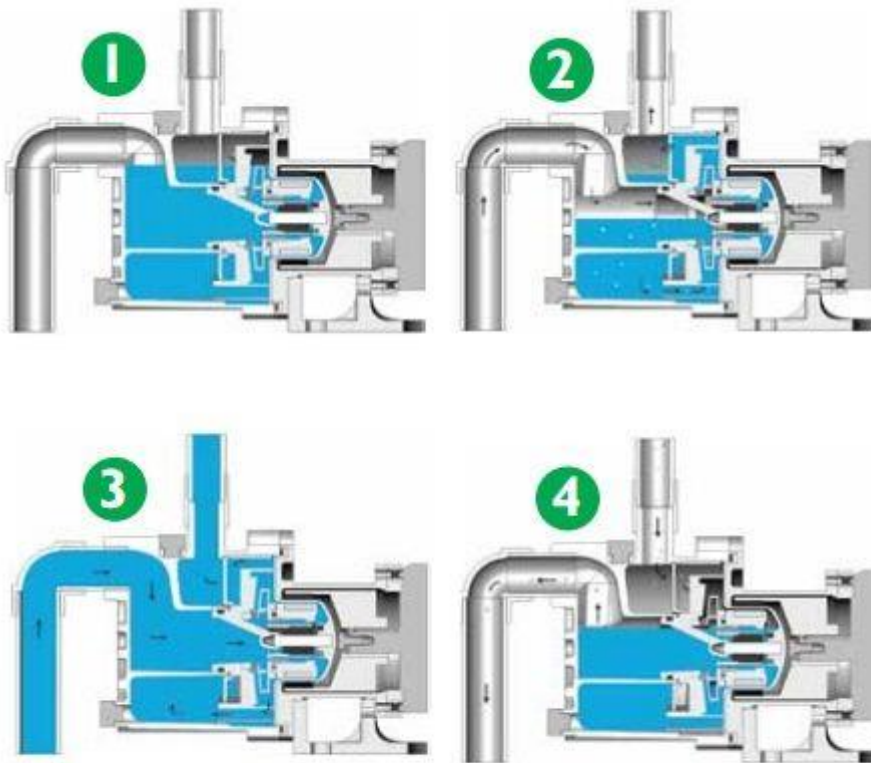
1. Контейнер
2. Самовсасывающий насос
3. Подводящая труба
4. Водонагреватели
5. Мотор с крыльчаткой
6. Ректификационный аппарат
7. Ёмкости для выходящих жидкостей

Устройство представляет из себя герметичный железный куб, контейнер объёмом в 1 м³ с выходящей из верхней грани воронкой с шредером (измельчителем), - оттуда будет поставляться мусор. Шредер необходим для измельчения пластиковых объектов, т.к. измельчение пластиковых объектов способствует более быстрой и эффективной переработке, кроме того, благодаря этому, мы можем загружать в устройство, по сути, пластик любой формы. Воронка - съёмная и является, как бы, крышкой контейнера и входящей трубой. Контейнер должен быть изготовлен из нержавеющей стали, как и всё его внутреннее содержание. Куб может быть заполнен водой приблизительно на половину от своего изначального объёма и уже содержит в себе большое количество бактерий (они доставляются туда через открытие/снятие крышки куба, то есть, воронки шредера). Подача воды внутрь осуществляется с помощью шланга, процесс прекращается, при достижении необходимого объёма, что регулируется гидростатическим датчиком уровня жидкости. Объём вмещающего в себя мусора не должен составлять более 0,5 м³ объёма.

Необходимая температура воды, то есть, температура в 30 градусов, поддерживается за счёт нагревательных элементов, располагающихся на дне, а под ними располагается пропеллер, мотор с крыльчаткой, обеспечивающий, за счёт, конвекции, равную температуру по всему объёму. Температура воды точно также регулируется и замеряется полупроводниковым датчиком температуры воды.

Особые датчики регистрируют наличие пластика и пластиковых остатков, и в случае, если таковые не будут найдены, открывается клапан и автоматически начинается подача смеси по нижней подводящей трубе в ректификационный аппарат с помощью самовсасывающего насоса. В начале подводящей трубы имеется фильтр, не пропускающий бактерии и взвешенные частицы терефталевой кислоты, т.к. терефталевая кислота слаборастворима в воде.

Самовсасывающий насос.



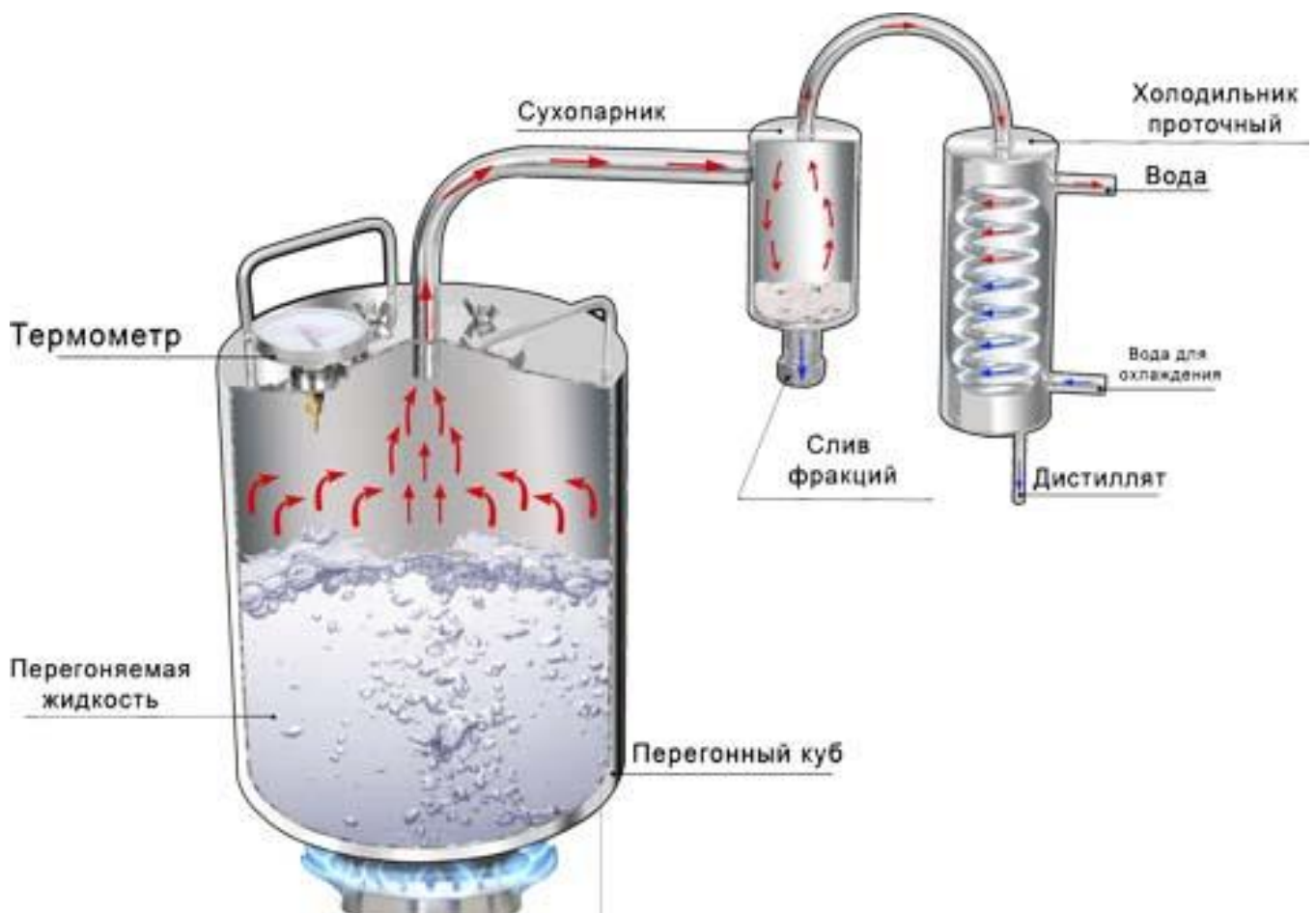
I. Во время установки насоса требуется заливка насоса перед пуском через наливное отверстие.

II. Когда начинается заливка насоса, воздух в всасывающей трубе смешивается с жидкостью, в заливочной камере образуется вакуум в спиральной камере насоса. Когда они разделятся, воздух поднимается в выпускающей трубе, в то время как жидкость возвращается в заливочную камеру.

III. Циркуляционный процесс заканчивается, когда жидкость полностью вытесняет воздух во всасывающей трубе, и начинается работа насоса.

IV. Когда насос выключают, s-образная форма заливочной камеры обеспечивает достаточное количество жидкости удерживается для эффективной заливки насоса перед следующим пуском.

Теперь перейдём к ректификационному аппарату.



Смесь из раствора этиленгликоля и воды, содержащую в себе молекулы кислоты, поступает в этот самый аппарат, напрямиком в перегонный куб. Там происходит нагрев смеси до температуры кипения воды. Далее вода испаряется и её пары выходят через шланг, поступая в холодильник, где они конденсируются и стекают в бак. Как только температура в кубе начала подниматься более 100°, значит вся вода из него уже испарилась. Следовательно, внутри остался только этиленгликоль, температура кипения которого 197°C, и кислота, выпавшая в осадок при испарении воды. Далее процесс нагрева останавливается и из куба сливается этиленгликоль в ёмкость, попутно проходя фильтрацию, что приводит к тому, что в аппарате скапливается некоторый небольшой осадок в виде порошка кислоты, из-за чего приходится через некоторое время чистить аппарат.

На выходе мы получаем практически дистиллированную воду и чистейший этиленгликоль.

*Надо обратить внимание на то, что в контейнере накапливается осадок кислоты, который необходимо убирать самостоятельно, вручную, то есть, чистить. Бактерии тоже, вместе с осадком, необходимо убирать из контейнера, а затем, заселять новыми. Уборку необходимо проводить после 2 полных циклов переработки.

Характеристики устройства:

К сожалению, многих технических данных нельзя рассчитать и привести, т.к. некоторую информацию можно проверить только на практике, а некоторую невозможно представить в следствие недостаточного количества точной информации.

Вместе с тем, я предлагаю использовать следующие характеристики оборудования:

- общая мощность устройства, системы ~ 25 кВт (~24900 Вт)
- мощность нагревательных элементов в ректификационном аппарате ~ 8 кВт
- мощность шредера – 11 кВт
- КПД ректификационного аппарата ~ 50%
- объём контейнера – 1 м³

Финансовые подсчёты:

Стоимость всей системы может варьироваться примерно от 150 до 200 тысяч рублей.

Заключение

Тщательно изучив всю информацию, взвесив все «за» и «против», продумав систему и принцип работы устройства для переработки мусора, рассчитав затраты на такой прибор, я пришёл к выводу, что метод утилизации, представленный мной, имеет шанс на дальнейшее развитие и распространение.

Однако для подтверждения действенности работы разработанной мною системы необходимо провести испытания реального опытного образца.

Список литературы

Электронные ресурсы:

1. Александер Фройнд, Наталья Позднякова, статья новостного сайта Deutsche Welle – «Микроорганизмы решат проблему переработки миллионов тонн пластика?» Режим доступа - <https://www.dw.com/ru/микроорганизмы-решат-проблему-переработки-миллионов-тонн-пластика/a-53353067>
2. Василий Головнин, статья новостного сайта ТАСС – «Японские ученые обнаружили бактерию, которая поедает пластик ПЭТ» Режим доступа: <https://nauka.tass.ru/nauka/2730148>

Статьи в журналах:

1. Статья в научном журнале Science – «A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate)»
Режим доступа: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aad6359>
2. Peter D., статья в электронном научном журнале ScienceAlert - «Scientists Have Accidentally Created a Mutant Enzyme That Eats Plastic Waste»
Режим доступа: <https://www.sciencealert.com/scientists-accidentally-engineered-mutant-enzyme-eats-through-plastic-pet-petase-pollution>
3. Статьи международного журнала систематической и эволюционной микробиологии – «Ideonella sakaiensis sp. nov., isolated from a microbial consortium that degrades poly(ethylene terephthalate)», «Biodegradation of polyester polyurethane by endophytic fungi» Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27045688/>, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21764951/>;

Книга однотомная:

1. Дытнерский Ю.И., «Процессы и аппараты химической технологии», 1995 г.
2. Скобло А.И «Процессы и аппараты по нефтепереработки и нефтехимической промышленности», 1971 г.
3. Стабников В.Н «Расчёт и конструирование контактных устройств ректификационных и абсорбционных аппаратов», 1971 г.

Учебники, учебные пособия и справочные материалы:

1. Касаткин А.Г. «Основные процессы и аппараты химической технологии.» Изд. 9-е., 1973 г.
2. Александров И.А., «Ректификационные и абсорбционные аппараты» Изд.3-е., 1978 г.
3. Иоффе И.Л., «Проектирование процессов и аппаратов химической технологии», 1991 г.
4. Александров И.А., «Массопередача при ректификации многокомпонентных смесей», 1975 г.

