

Инженер Н. С. МАКЕРОВ

**ДОБЫВАНИЕ ГАЗА
ИЗ ОСАДКА
СТОЧНЫХ ВОД**



Томск
1928

Добывание газа из осадка сточных вод.

I. СПОСОБЫ ДОБЫВАНИЯ ГАЗА.

Попытки добывать газ из осадка сточных вод и использовать его, как горючее, относятся к концу прошлого столетия. Попытки эти велись в трех направлениях, преследуя цель добывания газа путем:

- 1) отгонки газа (entgasung),
- 2) карбурации (vergasung) и
- 3) выгнаивания (ausfaulung) осадка.

Первый способ представляет собою сухую перегонку осадка, иными словами, нагревание осадка без доступа воздуха до такой степени, когда происходит выделение летучих веществ, т. е. этот способ аналогичен применяемому при добывании светильного газа.

Подобный метод добывания газа из осадка сточной жидкости не мог иметь успеха вследствие чрезмерных по сравнению с ценностью добытого газа затрат на топливо, обусловливаемых большим содержанием в осадке воды.

Второй способ состоит в следующем.

В высушенный и раскаленный осадок вдувается воздух или водяной пар. При вдувании воздуха кислород последнего входит в соединение с углеродом органического вещества осадка и образует окись углерода, каковая с азотом воздуха дает генераторный газ.

При вдувании водяного пара кислород последнего соединяется с углеродом органической части ила и образует окись углерода, которая с освободившимся водородом водяного пара дает водяной газ.

Этот способ добывания газа имел известные шансы на успех в случае обработки сточных вод отстаиванием с предварительным коагулированием их, когда в качестве составной части коагулянта употреблялся порошок из бурого угля. В этом случае ил, отжатый на фильтр-прессах и высушенный на воздухе, содержал большой процент углерода (за счет порошка из бурого угля) и был пригоден для добычи из него газа путем карбурации.

Установка для добывания газа по этому методу, поставленная кельнской фирмой Deutz в предместьи Берлина Oberschöneweide, работала с 1906 по 1908 год. Подобная же установка существовала в германском городе Elbing.

Однако и этот способ добывания газа, как видно, был применен лишь в единичных случаях и теперь не употребляется в связи с оставлением коагуляции сточных вод порошком бурого угля, как неэкономичной операции.

Третий способ — получение газа из осадка сточных вод путем выгнаивания осадка — впервые сравнительно в крупном масштабе осуществленный в 1896 г. в гор. Exeter, в Англии к настоящему времени получил большое распространение и вполне оправдал свое право на существование.

Добывание газа по этому способу является не самостоятельной задачей. Газ получается лишь попутно, как побочный продукт при выгнаивании ила — операции преследующей цель надлежащей предварительной обработки ила.

Ил, выделяемый из сточных вод, когда он находится в свежем состоянии, обладает известными отрицательными свойствами, как с

санитарной стороны, так и с точки зрения необходимых дальнейших операций по его обработке, а именно:

- 1) он содержит большой процент воды (88 — 96%), а, следовательно, имеет значительный объем и вес, что создает большие трудности по его транспорту;
- 2) он с трудом поддается сушке;
- 3) он обладает чрезвычайно противным запахом;
- 4) он привлекает мух, которые могут являться передатчиками различных начал.

Поэтому в настоящее время считается целесообразным для устранения этих крупных недостатков свежего ила подвергать последний выгниванию, так как выгнивший ил

- 1) содержит значительно меньший процент воды (75 — 80%), а, следовательно, обладает меньшим объемом и весом, что несравненно облегчает его транспорт;
- 2) легко подсушивается;
- 3) лишен неприятного запаха;
- 4) не привлекает насекомых.

С этой целью свежий ил оставляется на известный период времени в камерах того или иного устройства, где он и выгнивает. В результате процесса гниения органическое вещество осадка частью минерализуется, частью растворяется, частью обращается в газы.

Таким образом газообразование является лишь следствием того процесса, который преследует цель известной обработки осадка, а потому при наличии устройств, служащих для выгнивания ила, все мероприятия по добыче газа сводятся лишь к воспрепятствованию газу улетучиваться в воздух при выходе его из камер гниения и к его улавливанию, собиранию и хранению.

II. ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРЫ ДОБЫВАНИЯ ГАЗА ПО МЕТОДУ ВЫГНАИВАНИЯ ОСАДКА.

Технические меры, применяемые для улавливания и собирания газа, который образуется в камерах гниения, заключаются в устройстве:

- 1) непроницаемых для газа перекрытий над камерами гниения, что не позволит газу улетучиваться в воздух;
- 2) газоприемников, устанавливаемых над отверстиями в перекрытиях, для приема задержанного перекрытиями газа;
- 3) сети газопроводов, отводящих газы из отдельных газоприемников в магистраль, в свою очередь отводящую газ к месту его хранения или потребления.

А. Перекрытия камер гниения.

Конструкция перекрытий камер гниения зависит от конструкции перекрываемых ими сооружений. Наиболее сложными являются перекрытия над камерами гниения типа септик-танков и над теми отдельными камерами гниения, которые представляют собою сооружения большой площади. Наиболее простыми являются перекрытия над камерами гниения малой площади, а особенно просто осуществляются они в Эмшерских колодцах, где приходится перекрывать лишь небольшую площадь между стенками колодцев и стенками камер осадки.

Материалом для перекрытий служит чаще всего железобетон, при чем для большей газонепроницаемости железобетонные перекрытия покрываются гудронной обмазкой.

По отношению к поверхности иловой воды в камере гниения перекрытия могут быть отнесены к трем категориям:

- 1) постоянные перекрытия, располагаемые над водным зеркалом;
- 2) постоянные перекрытия, располагаемые под водным зеркалом;
- 3) перекрытия, плавающие на поверхности иловой воды;

Устройство перекрытий над водным зеркалом с одной стороны упрощает конструкцию перекрытий, с другой стороны ведет к образованию под перекрытием сравнительно большого газового пространства, которое может служить причиной:

1) утечки газа через могущие быть неплотности в перекрытии или в стенках камеры выше водного уровня и

2) проникания в газовое пространство через те же неплотности атмосферного воздуха, что может иметь место при быстром выпуске из камеры гниения ила; проникание же в газовое пространство воздуха может служить причиной взрыва (Imhoff).

Однако опасения эти разделяются не всеми, так как проникание атмосферного воздуха, в газовое пространство может быть предупреждено надлежащим уходом за установкой и медленным выпуском ила из камеры гниения (Grüss).

Примерами таких перекрытий для отдельных камер гниения могут послужить перекрытия в установках городов Essen - Frohnhausen, Essen - Nord, Oberhausen.

Устройство перекрытий под водным зеркалом усложняет конструкцию: при отдельных камерах гниения оно требует образования в перекрытии щелей (рис. 1), затрудняет отопление камер, не допуская засыпки их землей непосредственно по перекрытию. Однако, подобная конструкция устраняет образование газового пространства и предупреждает возможность как утечки газа через неплотности, так и проникания в камеру атмосферного воздуха.

Примеры подобного рода перекрытий для отдельных камер гниения дают установки в гор. Essen-Rellinghausen и Stuttgart, для Эмшерских колодцев — установки в гор. Essen-Rellinghausen и на берлинских полях орошения Wassmannsdorf.

Плавающие перекрытия так же, как и перекрытия только что рассмотренного вида, устраняют образование газовых пространств и обеспечивают это условие при любом горизонте иловой воды в камере гниения. Однако, подобная конструкция не может быть признана простой и легко выполнимой.

Примером плавающих перекрытий могут служить перекрытия камер гниения установки гор. Бирмингама, где они представляют собою пловучие понтоны.

Б. Газоприемники.

Для собирания задержанного перекрытиями газа в них остаются отверстия и над этими последними устанавливаются металлические газоприемники, представляющие собою железные колпаки пирамидальной, цилиндрической и т. п. формы. Из этих газоприемников газ отводится по газопроводу.

Газоприемники имеют различное устройство.

Первоначально примененный в г. Essen-Rellinghausen в установке с Эмшерскими колодцами газоприемник (рис. 2) имеет следующее устройство.

Над отверстием размером $0,83 \times 0,66$ метр. в бетонном перекрытии, которое погружено на 1 метр ниже водного зеркала, устанавливается

газоприемник пирамидальной формы. Подошва этого газоприемника находится на 30 см. ниже водного зеркала, что достигается установкой газоприемника не непосредственно на перекрытие, а на стенки, надстроенные над перекрытием с трех сторон отверстия. Чтобы воспрепятствовать прониканию плавающего ила в газоприемник, под газоприемником устанавливается наклонная решетка, к которой имеется доступ со стороны, не огражденной стенкой. Через отверстие с этой стороны решетка может быть очищаема без перерыва в работе газоприемника. Пригодными для решетки материалами являются дерево или такой металл, который способен сопротивляться раз'еданию; железные же прутья подвергаются быстрому разрушению. От верхушки газоприемника идет железный трубопровод, служащий для отвода газа. Так как решетка не вполне защищает от проникания в газоприемник плавающего ила, газоприемник устраивается с'емным.

Глубина погружения подошвы газоприемника обусловливается давлением, необходимым для вдавливания газа в отводящую газ сеть трубопроводов. Глубина погружения в 30 см., каковая приводится в данном примере, обыкновенно бывает достаточна для создания давления газа, необходимого для отвода газа на недалекое расстояние. В случае отвода газа на далекое расстояние, давление, а сообразно с ним и глубина погружения подошвы газоприемника возрастает сантиметров до 60, нуждаясь в особых случаях в надлежащем расчете.

Подобное устройство является в то же время и предохранительной мерой против повышения давления газа в газоприемнике выше определенного предела. А именно: если газопровод по какой-либо причине закупорен и не отводит газа, давление в газоприемнике будет возрастать до той степени, пока уровень воды в газоприемнике не понизится до подошвы газоприемника и пока газ не выйдет наружу через боковой промежуток, не огражденный стенкой и предназначенный, как было указано выше, для очистки решетки.

Описанного типа газоприемник страдает тем недостатком, что решетка, устанавливаемая под ним, плохо предохраняет от проникания в него плавающего ила. Через некоторый промежуток времени такой газоприемник оказывается забитым илом, который появляется даже на поверхности воды, окружающей газоприемник, выходя через отверстие, предназначенное для доступа к решетке. Поэтому газоприемник этого устройства требует довольно частого его снятия и удаления плавающего ила.

На рис. 3 изображен газоприемник иного типа — патент Imhoff'a, Fries'a и Blunk'a. Существенной чертой этого газоприемника является применение в нем взамен решетки для задержания плавающего ила деревянного щита, представляющего собою раму, заполненную собранными в шпунт дощечками. Этим щитом предварительно закрывается отверстие в перекрытии, имеющее размеры $0,50 \times 0,60$ метр., а затем уже над щитом устанавливается железный колпак, имеющий у подошвы в стенках своих отверстия, служащие для выхода воды при увеличении давления под колпаком и для выхода газа, когда давление это достигает крайних пределов. Чтобы щит не всплывал, он удерживается бруском, вводимым в пазы, имеющиеся по сторонам отверстия. Такой деревянный щит является совершенно непроницаемым для плавающего ила и вместе с тем прекрасно пропускает газ. Плавающий ил, задерживаемый щитом и собирающийся под ним, может быть выпущен через отверстие в стенке камеры, закрываемое задвижкой. Впрочем, по некоторым данным

(Sierp) в хорошо работающих установках происходит выгнивание и плавающего ила, почему последний по выгнивании погружается ко дну; таким образом к удалению плавающего слоя прибегать не приходится. С плавающим слоем непременно приходится иметь дело лишь в тех случаях, когда в иле, выделяемом из сточных вод, содержится много различных жиров и масел минерального происхождения.

Вместо деревянных щитов для задержания плавающего ила, иногда употребляют бетонные пористые пластины. Последние благодаря своему весу не всплывают и не требуют особого их закрепления на месте. Они являются более долговечными, чем деревянные щиты. Толщина бетонных пористых пластин 5 см. Пластина заключается в раму из углового железа, к которой по углам прикреплены круглые железные стержни, соединенные вместе сверху и образующие приспособление, за которое можно взяться, когда требуется поднять пластину, чтобы обнажить прикрываемое ей отверстие в перекрытии. Той же цели можно достигнуть заделкой в бетонные пористые пластины во время их изготовления в каждую по паре скоб.

На рис. 4 изображен еще один тип газоприемника, примененный в установке с Эмшерскими колодцами на берлинских полях орошения Wassmannsdorf. Газоприемник — железный цилиндрической формы колпак со сферической верхушкой — установлен над отверстием диаметра 0,60 метр. в перекрытии. Для предохранения газоприемника от проникания в него плавающего ила установлена под ним бетонная пористая пластина. Особенностью газоприемника является установка его в кольцевом желобе, заполненном водой и служащем водяным затвором, препятствующим прониканию атмосферного воздуха через щели в нижней части газоприемника. Последнее может произойти при понижении уровня воды в колодце, например, при выпуске большой порции ила. Глубина кольцевого желоба обуславливается созданием необходимого давления газа. Подобное устройство является в то же время предохранительной мерой против повышения давления газа выше определенного предела.

Для выпуска плавающего ила из под пористой пластины предусмотрена труба, снабженная задвижкой.

Описанного типа водяной затвор в виде кольцевого желоба может быть применен и для газоприемников, устанавливаемых над перекрытиями, находящимися выше водного зеркала. Конечно, заполнение водой этого кольцевого желоба в данном случае должно производиться искусственным образом.

В. Газопроводная сеть.

Из всех газоприемников установки газ помощью железных труб отводится в общую магистраль, каковая в свою очередь отводит газ к газохранилищу или к месту потребления газа.

На каждой трубе, идущей от газоприемника, должен иметься кран, чтобы можно было, в случае надобности, изолировать любой газоприемник от общей газовой сети.

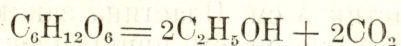
Для удаления воды, конденсирующейся при прохождении газа по холодным трубопроводам, газовые трубы снабжаются водяными горшками.

Для измерения количества газа желательно на газопроводе, ведущем от каждой камеры гниения, устанавливать газовые часы.

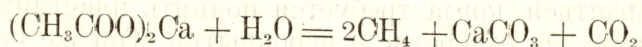
III. СОСТАВ ГАЗА И ЕГО ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ.

Газ, образующийся при выгнивании осадка сточных вод, всегда состоит из углекислоты, метана и азота; другие же составные части, как-то: водород, сероводород, кислород и окись углерода появляются в нем только случайно.

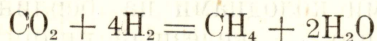
Углекислота появляется в газе гниения прежде всего, как продукт жизнедеятельности микроорганизмов, ведущих работу по разложению ила, при их дыхании, а затем она образуется также, как продукт расщепления при различных процессах, например, при алкогольном брожении сахара



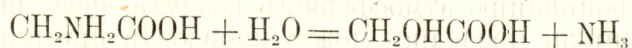
при метановом брожении, например, из уксусно-кислой извести



Метан образуется с одной стороны через метановое брожение; с другой стороны через непосредственное соединение углекислоты с водородом, согласно исследований Söhlengens'a, по уравнению:



Азот также может образовываться различными путями. Во всяком случае главная масса азота появляется в результате разложения белковых веществ. При разложении белковых веществ отщепляются аминокислоты, а при дальнейшем разложении последних отщепляется аммиак, напр.:



Этот аммиак в дальнейшем под влиянием нитрифицирующих бактерий переводится через молекулярный азот в нитриты и нитраты, при чем часть азота, вероятно, не участвует в реакции и уходит в свободном состоянии, как составная часть газа.

Кислород, как составная часть газа гниения, представляет собою редкое явление. По характеру процессов, происходящих в камерах гниения, трудно предположить, чтобы кислород мог содержаться в последних в свободном состоянии.

Присутствие его можно объяснить или

- 1) неправильным взятием проб, или
- 2) диффузией с поверхности воды в газ.

Водород образуется при различных процессах, главным образом, при кислом брожении, которое наблюдается в особенности во время «вработывания» камер гниения или в периоды нарушения нормальной их работы. В дальнейшем количество водорода уменьшается и наконец он совершенно исчезает.

Так, обнаружено, что при разложении различных веществ: углеводов, белков, овощей, мяса, целлюлозы и друг. под влиянием выгнившего ила всегда образуется водород. Однако в газе камер гниения он встречается очень редко, поэтому делают заключение, что водород всегда образуется, но тотчас же потребляется, согласно вышеприведенного уравнения Söhlengens'a.

Это подтверждается следующим опытом.

Если через камеру гниения, которая дает газ, не содержащий водорода, пропустить этот же газ, но предварительно искусственно введя в него 20% водорода, то по прохождении через камеру гниения газ потеряет

введенный в него водород. При этом опыте необходимо стремиться к тому, чтобы проходящий через камеру газ, содержащий водород, входил в наиболее тесное соприкосновение с илом. Последнее достигается употреблением для ввода газа форсунок.

Сероводород в газе хорошо работающих камер гниения не наблюдается. Он появляется, главным образом, там где к установке приходят уже загнившие воды выгребов.

Sierp указывает следующие причины появления сероводорода:

1) Если притекающая вода богата сульфатами, то эти сульфаты расщепляются до сульфидов, а последние, нейтрализуя органические кислоты, дают сероводород.

2) Если при выпуске слишком большого количества осадка или при введении слишком большого количества свежей воды будет происходить в камере гниения сильное разжижение осадка, сопровождаемое кислым брожением, то при этом освобождается связанный сероводород, находившийся в осадке в виде сернистого железа.

Даже незначительное содержание в газе камер гниения сероводорода придает газу неприятный характерный запах сероводорода.

Содержание в газе камер гниения тех или иных составляющих его элементов подвержено значительным колебаниям.

Таблица I, составленная нами на основании данных различных авторов для различных установок, дает представление о процентном содержании в газе составных частей.

Содержание углекислоты колеблется от 3,4 до 35 процентов: в недавно введенных в работу камерах гниения оно ниже и с течением времени постепенно повышается. В камерах гниения с очень старым выгнившим илом содержание углекислоты в газе может дойти до 35%.

Содержание метана колеблется от 60 до 90%: в камерах гниения, недавно пущенных в работу, содержание метана выше, чем в камерах со старым илом.

Таким образом, процентное содержание углекислоты и процентное содержание метана в газе находятся в обратном отношении: увеличение процентного содержания в газе углекислоты сопровождается уменьшением процентного содержания в нем метана и наоборот.

Увеличение с течением времени в газе гниения углекислоты и уменьшение метана объясняется следующими причинами:

1) В начале работы камер гниения углекислота растворяется в иловой воде, с течением же времени, по мере насыщения воды углекислотой, последняя растворяется в воде все в меньшем количестве и, следовательно, в большем количестве выходит в виде газа.

За это говорит также то обстоятельство, что при выпаривании иловой воды образующийся пар вначале содержит до 95% углекислоты.

2) Образование метана с течением времени после уже совершившегося сильного распада образующих метан веществ ослабляется.

3) Groenewege приводит факт уменьшения количества метана, вследствие уменьшения числа метановых ферментов, объясняя последнее тем, что метановые ферменты постепенно садятся ко дну и выпускаются вместе с илом.

4) H. Blunk и F. Sierp предполагают, что благодаря выделениям бактерий и токсическому действию этих выделений, деятельность метановых бактерий ослабляется, а, следовательно, понижается содержание метана. Затем после выпуска ила и ввода нового количества сточной

Таблица I.
Состав газа гниения и его теплотворная способность.

СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ГАЗА	Jmhoff		S i e r p			Bendler	Sohler	Mahr	O. K a m m a n n					Hatfield	
	По данным		Из отд. колодцев	Смешанный из многих колодцев	Очищенный	Wandsdorf	Stuttgart	Kettwig	Worcester	Lawrence	Atlanta	Paramatta	Birmingham	Среднее для европейск. условий	Decatur
	1923 г.	1925 г.													
	В п р о ц е н т а х														
Метан	65—90	80—85	65—95	75—85	90—98	75	75,5	79—85	75,2	78,9	84,1	60	67	80	70—80
Углекислота	5—35	7—20	5—35	15—20	0—2	19	14	4,8-5,3	5,9	3,4	4,6	14	30	до 20	20—30
Азот.	0—8	0—8	0—5	0—5	0—8	6,9	4,7	10—16	17,4	16,3	3,1	16,9	3	0—8	—
Водород	0—10	—	0—8	—	—	0,1	4,8	—	0,3	—	8,6	8	—	—	—
Сероводород	—	—	0—0,25	—	—		—	—	—	1,4	0,4	—	—	—	—
Кислород.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4	1,1	—	—	—
К а л о р и й															
Теплотворная способность.	7000	7000—	—	7500—	—	6900	8000	—	—	—	6300	5340	—	8000—	—
	—9000	—8000	—	—8200	—									9000	

воды в камеру гниения¹⁾ происходит большое разжижение ила, и метановые бактерии продолжают с большей энергией свою деятельность.

Содержание азота в газе камер гниения подвержено большим колебаниям. Причины этого обстоятельства не найдены.

Содержание водорода колеблется от 0 до 10%.

Установлено, что водород появляется обыкновенно лишь на короткое время в начале работы камер гниения, а затем при созревании камер гниения содержание его в газе уменьшается до нуля.

Объяснение этого явления заключается в вышеупомянутом уравнении Söhngens'a.

Кроме рассмотренных выше составных частей в газе камер гниения Michael и Dr. Koch наблюдали еще присутствие окиси углерода в количестве до 0,5% (установка гор. Chemnitz). Walsawh в установке Cole Hall (Бирмингем) нашел в газе гниения также окись углерода в количестве 0,55%.

Теплотворная способность газа гниения зависит от его состава и колеблется согласно таблицы I в пределах от 5340 до 9000 калорий. Большой процент содержания в газе метана и меньший процент содержания углекислоты обуславливают большую теплотворную способность.

В таблице II даются для сравнения сведения о составе и теплотворной способности некоторых других газов.

Таблица II.

Состав некоторых газов и их теплотворная способность

СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ГАЗА	Масля- ный газ	Коксо- вый газ	Карбур. водяной газ	Водяной газ	Газ Пинча
	В п р о ц е н т а х				
Водород (H ₂)	32	50	40	48	12,4
Метан (CH ₄)	48	36	25	2	45,4
Этилен (C ₂ H ₄)	26,5	4	8,5	—	35,7
Азот (N ₂)	3	2	4	5,5	3
Окись углерода (CO)	—	6	10	38	0,6
Кислород (O ₂)	0,5	0,5	0,5	0,5	2
Углекислота (CO ₂)	—	1,5	3	6	0,7
К а л о р и й					
Теплотворная способность . .	7600	5400	5200	2600	13500

¹⁾ Исследования Н. Blunk'a и F. Sierp'a касаются установок с Эмшерскими коллодами.

IV. КОЛИЧЕСТВО ГАЗА.

Количество добываемого из осадка сточной жидкости газа зависит от многих условий.

На производительность газодобывающей установки оказывают влияние следующие факторы:

- 1) температура камер гниения,
- 2) перемешивание свежего ила со старым,
- 3) количество и характер органического вещества в свежем иле,
- 4) характер сточных вод и
- 5) степень щелочности среды.

Температура камер гниения. Газообразования совершенно не происходит при низких температурах. Оно начинается лишь при 6°C . и усиливается при повышении температуры до некоторого предела. При температуре свыше этого предела газообразование начинает падать.

По данным Imhoff'a такой предельной температурой является $25-30^{\circ}\text{C}$.

Зависимость газообразования от температуры иллюстрируется диаграммой Imhoff'a, представленной на рис. 5, каковая дает количество газа в литрах, добываемого за два месяца из одного килограмма органического вещества свежего ила при различных температурах.

Зависимость газообразования от температуры могла бы быть подтверждена большим числом примеров. Ниже приводятся лишь некоторые из них.

Так, на рис. 6 представлена диаграмма, составленная по данным опытов в Wansdorf (Берлин), которая дает количества газа в кубич. метрах, приходящиеся на 1000 куб. метр. сточных вод и добываемые по месяцам при различных температурах ила. Температура ила, как то видно из диаграммы, зависит от температуры атмосферного воздуха.

На рис. 7 представлена диаграмма, дающая общие количества газа в куб. метрах, добываемые на очистной станции гор. Stuttgart по месяцам при различных температурах камер гниения. Из диаграммы усматривается также зависимость температуры камер гниения от температуры сточных вод ¹⁾, а температуры этих последних от температуры атмосферного воздуха.

По данным Mahr'a на установке г. Kettwig в летние месяцы добывается газа свыше 150 куб. м. в день, зимой же лишь 60—70 куб. м. в день, при чем во время таяния снега выход газа становится еще ниже.

По данным Sierp'a при средней годовой температуре ила в $12\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$. газа добывается 3 куб. метра на человека в год (т. е. в переводе на человека в день 8,2 литра).

По данным E. Bendler'a, согласно опытов в Wansdorf, при средней годовой температуре ила в $13\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$. добывается в среднем также 8,2 литра на человека в день, при колебаниях от 12,1 литра на человека в день летом, при температуре 17°C ., до 4,6 литра на человека в день зимой, при температуре в 11°C .

По данным O. Kammann'a добыча газа выражается также 3 куб. м. на жителя в год при температуре камер гниения $10-12^{\circ}\text{C}$.

K. Imhoff дает 8 литров газа на жителя в день или около 3 куб. м. на жителя в год.

W. Sohler для гор. Stuttgart дает 8—10 литров на человека в день.

¹⁾ Большая часть установки гор. Stuttgart состоит из Эмшерских колодцев и Нейштадтских бассейнов.

Фирма «Kremer-Klärgesellschaft», согласно данных директора фирмы Pritsch, при проектировании своих установок пользуется для германских условий нормой 8 литр. газа на жителя в день.

Имея в виду сказанное выше относительно зависимости газообразования от температуры, можно сделать заключение, что приведенные выше цифры добычи газа могут быть увеличены путем искусственного повышения температуры камер гниения. Метод этот был применен в Бирмингеме, где Watson и Martin повысили выход газа до 30 литров на человека в день. Imhoff в гор. Essen-Rellinghausen путем искусственного обогрева отдельной камеры гниения впуском в нее горячей воды повысил температуру ила с 8—10° Ц. до 21° Ц., усилив газообразование в несколько раз.

Перемешивание поступающего в камеры гниения свежего ила со старым. При перемешивании свежего и старого ила достигается наилучший контакт их между собою, а, следовательно, перенос бактерий гниения на свежий ил и усиление вместе с этим процессов гниения и газообразования.

Путем искусственного перемешивания ила в отдельной камере гниения установки Essen-Nord Prüss'y удалось повысить газообразование в два раза.

О. Kammann полагает, что путем искусственного повышения температуры камеры гниения на несколько градусов и искусственного перемешивания их содержимого можно увеличить выход газа до 6—8 куб. метр. на жителя в год.

Количество и характер органического вещества в свежем иле. Если сточные воды после механического отстаивания подвергнуть еще биологической очистке помощью активного ила и остаточный активный ил подавать в камеры гниения и выгнать его вместе с илом, выделенным из воды при механическом отстаивании, то таким образом количество органического вещества в осадке значительно возрастает, а вместе с этим увеличивается и выход газа.

По данным Sierp'a при таком способе добыча газа может быть доведена до 16 литров на жителя в день, против 8 литров, получаемых при одной лишь механической обработке сточных вод.

Влияние характера органического вещества ила на выход газа иллюстрируется следующими данными, которые получили Clark и Gage, подвергая разложению ил из различных источников (таблица III).

Таблица III.
Количество газа из ила различных источников

И С Т О Ч Н И К И И Л А	Содержание в иле органического вещества в ‰	Количество газа на единицу органического вещества
Кожевенные заводы.	51	0,00
Сточные воды гор. Lawrence	78	7,45
Загниватели	46	9,00
Сток после непрерывно-действующих окислит. . .	45	121,00

Характер сточных вод. Большое влияние на разложение органического осадка, а, следовательно, и на газообразование имеет при-

ток промышленных вод, так как последние часто содержат ядовитые вещества, могущие принести вред микроорганизмам гниения. Если ядовитые вещества являются временной и при том незначительной примесью к сточным водам, то они могут мало повлиять на газообразование. Но постоянный приток ядовитых веществ даже и в незначительном количестве может повести к совершенной приостановке процессов разложения и газообразования.

Таковыми неблагоприятными для процессов газообразования водами являются сточные воды коксовален с большим содержанием смол, фенола, родана; воды после очистки газа; воды с латунных фабрик с высоким содержанием солей меди; воды кожевенных заводов, содержащие мышьяково-хромовые соли, и все сильно кислые и содержащие свободный хлор сточные воды (Sierp).

Таким образом, в целях получения осадка, способного загнивать и давать газ, в случае наличия в сточных водах ядовитых веществ, последние следует предварительно обезвредить.

Так как за последние годы с целью дезинфекции сточных вод, а также для устранения запаха широко распространяется хлорирование их, профессор Gordon M. Fair и его ассистент C. L. Carlson в университете гор. Cambridge (Mass.) произвели лабораторные испытания, имевшие задачей выявить, каким образом предварительное хлорирование сточных вод влияет на процесс выгнивания осадка. Опыты производились с двумя сериями проб осадка из Эмшерских колодцев, при чем каждая серия состояла из двух проб: одной из колодцев с предварительным хлорированием сточной воды и другой — без такового. Масштабом гниения служили добыча метан-газа из осадка и концентрация водородных ионов.

В частности, результаты газообразования, выявившегося при этих испытаниях, выражаются диаграммой, представленной на рис. 8. Из этой диаграммы явствует, что в первые 4—6 недель происходит более быстрое газообразование при гниении осадка предварительно хлорированной жидкости и более медленное газообразование — при гниении осадка нехлорированной воды; в последующее же время — наоборот: более быстрое образование метан-газа идет для нехлорированных проб и более медленное — для хлорированных.

Подобное явление может быть объяснено следующими причинами.

1) Хлорирование может оказать коагулирующее действие и повести к осаждению мельчайших коллоидальных или растворенных органических веществ, а, следовательно, содействовать увеличению количества органического вещества в осадке, что в свою очередь влечет за собой первоначальное усиление газообразования.

2) Хлорирование может убивать тех микроорганизмов, заключающихся в сточных водах, которые ведут к кислотному брожению, а также и тех микроорганизмов, которые препятствуют активности метан-производящих бактерий, и, следовательно, благодаря хлорированию усиливаются процессы образования метан-газа в первоначальной стадии процесса гниения.

Имея в виду, что технически на очистных установках процессы гниения осадка не доводятся до полного выгнивания органического вещества, а только до такого состояния, при котором осадок становится приемлемым для дальнейшей его обработки, повышенное газообразование именно в начальном периоде процесса может выгодным образом отразиться на добыче газа. Следовательно, предварительное хлорирование сточных вод может увеличить выход газа.

Степень щелочности среды. О. Камман на основании данных различных исследователей считает, что оптимальная для добычи газа степень концентрации водородных ионов иловой воды в камерах гниения заключается в пределах 7,3 и 7,6 рН.

У. УТИЛИЗАЦИЯ ГАЗА.

Газ, добытый из осадка сточных вод, может быть использован:

- 1) в сыром виде,
- 2) в очищенном виде.

А. Утилизация газа в сыром виде.

Газ в сыром состоянии может быть использован:

- 1) для целей отопления, освещения и варки пищи;
- 2) для газовых двигателей;
- 3) для получения паровой и электрической энергии;
- 4) как топливо для мусоросжигательных станций.

В целях отопления, освещения и варки пищи газ может быть использован:

- а) для потребностей очистной станции,
- б) для продажи или отпуска газовым заводам.

Примером использования газа для собственных потребностей очистной станции может служить, например, установка гор. Essen-Rellinghausen, где часть газа используется для повышения температуры отдельной камеры гниения. На некоторых установках газ частично употребляется для отопления будок с хлорирующими устройствами.

В большинстве случаев газ, добытый на очистных установках, отпускается газовым заводам, которые используют его, как светильный газ.

В случае передачи газа городским газовым заводам он или вводится в городское газохранилище, или поступает непосредственно в городскую газовую сеть, или предварительно идет на газовый завод. Если городское газохранилище находится вблизи очистной станции, то газ вводится в него (Essen-Rellinghausen, Kettwig). Если вблизи очистной станции проходит городская газовая сеть, то газ может вводиться непосредственно в нее. В этом случае предпочтительнее вводить газ для лучшего его смешивания с городским газом в главный газопровод, так как при вводе газа во второстепенную линию возможны случаи получения потребителем или только городского газа или только газа гниения (метана). Последнее же обстоятельство (переменный характер газа) требует перестановки сопла рожка, а потому естественно вызывает постоянные жалобы со стороны потребителей. К тому же еще метан обладает слабой скоростью зажигания, что без принятия надлежащих мер (проволочные сетки) при известном давлении газа в сети вызывает задувание пламени. Установка же сеток не во всяком хозяйстве допустима.

Иногда газ поступает предварительно на городской газовый завод и оттуда уже смешанный с городским газом поступает в сеть. Подобный пример дает очистная установка гор. Stuttgart, где газ гниения подается на городской газовый завод, расположенный в 10 км. от установки, подмешивается там к неочищенному каменноугольному газу и вместе с последним проходит обыкновенные очистительные процессы перед поступлением в городскую сеть.

В случае, если газ не представляется возможным использовать для собственных потребностей очистной станции, а также нельзя передать его газовым заводам, вследствие отдаленности последних, газ, добытый на очистной установке, сжимают до давления в 150 атмосфер в стальных бутылках и продают его на сторону. В сжатом состоянии он перевозится на расстояния и может быть использован для отопительных и осветительных целей на отдельных усадьбах, в лабораториях, фабриках и т. п. Благодаря первоначальной дешевизне (см. дальше гл. VII), а также тому обстоятельству, что сжатие производится компрессорами, работающими на том же газе, газ в сжатом состоянии может выдержать транспорт на большие расстояния и успешно конкурировать с другими видами топлива.

В сжатом же состоянии, но предварительно очищенный газ может быть продаваем для использования и в других целях (см. п. Б настоящей главы).

Газ гниения, как топливо для газовых двигателей, утилизируется уже на многих установках.

Так, в Brisbane (Австралия) с 1914 года работает на газе гниения, получаемом с установки, обслуживающей 13000 жителей, двигатель в 17 лощ. сил.

В г. Austin (Texas) на газе из Эмшерских колодцев работает канализационная насосная станция.

В г. Бирмингеме на установке Cole Hall с 1921 г. работает 32 сильный газовый мотор, а на установке в Saltley в 1926 г. было приступлено к оборудованию ее для добывания газа и к установке 150-сильного газового двигателя. По подсчетам главного инженера бирмингемской установки, инж. Whitehead, из газа последней можно получать ежегодно 1.150.000 лошад. сил.

На установке в г. Halle (Германия) газ эмшерских колодцев с конца 1927 г. частично используется для работы 12-сильного газового мотора, которым приводится в действие компрессор, обслуживающий маммут насос для под'ема 1000 литров ила (с содерж. воды в 90%) в минуту на высоту около 7,5 метр. Мотор потребляет газа около 500 литр. на одну лощ. силу в час.

Насосную станцию полей орошения Wassmannsdorf (Берлин) предполагается переоборудовать с целью перевода ее на работу собственным газом из Эмшерских колодцев, пущенных в работу в июле месяце 1927 г.

В г. Decatur часть газа, добываемого из Эмшерских колодцев, предполагалось, согласно данных 1926 года, использовать для газовых двигателей на станции аэрации в расчете на потребление около 400 литр. на каждую лощ. силу в час.

Газ гниения может быть использован, как топливо для получения паровой и электрической энергии.

Наконец, он нашел себе применение, как топливо для мусоросжигательных станций: так, в гор. Austin (Texas) часть газа гниения используется при сжигании мусора.

Б. Утилизация газа в очищенном виде.

В некоторых областях техники газ из камер гниения может найти себе применение после соответственной очистки, т. е. в освобожденном от водорода и углекислоты состоянии. Такой газ, представляющий собою уже высокопроцентный метан может быть использован:

- 1) для автогенной резки и сварки;

2) в химической промышленности: некоторые американские патенты предусматривают добывание из метана гексаметилентетрамина, продукта, имеющего применение для вулканизации каучука и при производстве искусственных смол (патент Plausson'a), а также добывание галоидозамещенных метана (метилхлориды).

VI. ОЧИСТКА ГАЗА.

Для получения высокопроцентного метана необходимо удалить из газа гниения водород и углекислоту.

Водород может быть устранен следующим способом, основанном на данных гл. III.

Газ под давлением пропускают через «вработавшуюся» камеру гниения, подавая его в нижнюю часть камеры и распыляя его посредством форсунок для наилучшего соприкосновения с илом. Тогда водород газа соединяется с углекислотой содержимого камеры и образует метан.

По американским данным этим способом удавалось довести до 0% содержание водорода в газе, содержавшем его в количестве 18%. То же самое и по германским данным содержание водорода в газе в 18,1% этим способом снижалось до 0%.

Углекислота из газа может быть удалена одним из следующих способов:

1) Пропусканием газа под давлением через наполненные водой бутылки; при этом содержащаяся в газе углекислота растворяется в воде, а газ выходит очищенный; вода, конечно, периодически (по насыщении углекислотой) должна из бутылей выпускаться и заменяться новой. Этот способ очистки может быть совмещен с получением сжатого газа, когда последний отпускается в бутылках, если очистительную установку (бутылки с водой) расположить между компрессором и бутылками, предназначенными для сжатого газа.

2) Пропусканием газа через известковое молоко: в этом случае свободная углекислота будет связываться в углекислый кальций.

3) Введением промывной воды в камеру гниения: в этом случае усиливается растворение углекислоты в иловой воде и, следовательно, получается меньший выход ее в виде газа.

Содержание углекислоты в газе удается понизить до 0,5—2%, смотря по содержанию ее в сыром газе.

В результате очистки получается газ, состоящий из метана в количестве 92—98%, азота 0—8% и углекислоты 0,5—2%.

Если в газе гниения находится в виде составной части сероводород, что бывает очень редко, то удаление его из газа совершается установкой на газопроводах особой системы фильтров (из болотной железной руды).

Удаление из газа воды, конденсирующейся при проходе газа по холодным трубопроводам, производится через водяные горшки, устанавливаемые на газопроводах.

VII. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ.

Для экономического расчета газодобывающей установки необходимы следующие данные:

1) Стоимость переустройства установки (если установка для очистки сточных вод уже существует) и стоимость оборудования для добывания газа; или разница в стоимости постройки очистной установки с

оборудованием для добывания газа и без такового (если речь идет о постройке новой очистной станции).

2) Стоимость передачи газа на расстояние до места потребления его.

3) Стоимость годичной эксплуатации газодобывающей установки (расход на рабочего, компрессорную установку, очистку газа и т. п.).

4) Условия займа и погашения.

5) Количество газа, которое может быть получено за год.

6) Цена, по которой газ может быть продан.

На основании этих данных можно подсчитать с одной стороны ежегодные расходы по оплате процентов и погашению займа, по отчислению в фонд возобновления и по эксплуатации установки, а с другой стороны ежегодный доход от продажи газа и таким образом выявить рентабельность установки.

Если газодобывающее оборудование выполняется одновременно с постройкой очистной станции, то дополнительная стоимость его ничтожна. Если же газодобывающее устройство добавляется позже, то стоимость его в этом случае, конечно, значительно больше и зависит от конструкции камер гниения.

По данным Imhoff'a стоимость дополнительных устройств и оборудования, включая газопроводы на территории очистной станции, составляет только 1% от строительной стоимости установки Эмшерских колодцев.

Продажная цена газа, по которой он отпускается канализационными очистными станциями газовым заводам, несмотря на его высокую теплотворную способность, в настоящее время довольно низка.

В г. Essen-Rellinghausen газ от канализационной очистной установки, принадлежащей Рурскому Союзу, покупается газовым заводом, принадлежащим городу, по 3½ пфенига за куб. метр; в г. Kettwig — по 5 пф. за куб. метр.

В г. Stuttgart газ предположено отпускать газовому заводу по цене 7 пф. за куб. метр.

В г. Цюрихе — по 5 пф. за куб. м.

Цены эти являются очень низкими и обуславливаются тем, что газодобывающие канализационные установки, не имея иных выходов в смысле сбыта газа, вынуждены соглашаться на низкие цены и сдавать его газовым заводам, диктующим свои условия. И заводы выплачивают за этот газ часто лишь $\frac{2}{3}$ от себестоимости городского каменноугольного газа.

Доходность газодобывающей установки будет несравненно выше, если она будет находиться в тех же руках, в чьих находится газовый завод, так как газ гниения пойдет тогда по цене газа, отпускаемого заводом потребителям. В Рурской области, например, городской газ отпускается по 19 пф. за куб. метр.

D. Klemens Delkeskamp (Висбаден) оценивает газ камер гниения, по его теплотворной способности в сравнении с каменноугольным газом и по стоимости последнего, в 35 пф. за куб. м.

Несмотря на очень низкие цены, по которым газ гниения продается в настоящее время очистными установками Рурского Союза, все же доход от добывания газа, по свидетельству Imhoff'a и Sierp'a, покрывает не менее половины эксплуатационных расходов очистных установок.

Ниже приводится экономический расчет газодобывающей установки г. Stuttgart, состоящей из Эмшерских колодцев, Нейштадтских бас-

сейнов и Штутгартских бассейнов, с общей добычей газа в 1.000.000 куб. метр. в год (от 350.000 жителей).

Стоимость переустройства и оборудования:

1) перекрытия камер гниения железобетоном	63.000 мар.
2) газоприемники	3.150 «
3) газопроводы до газохранилища	21.000 «
4) машинная установка для перекачивания газа на газовый завод на расстояние в 10 клм.	13.650 «
5) газохранилище	2.100 «
6) газоочиститель	2.100 «

Итого 105.000 мар.

Годичная стоимость эксплуатации:

1) надзор	1.700 мар.
2) уплотняющие и смазочные материалы	580 «

Итого 2.280 мар.

Проценты 8% на 105.000 мар. 8.400 «

амортизация:

2% от стоимости перекрытия	1.260 «
10% « « остального	4.200 «

Общая годичная стоимость 16.140 мар.

Доход от продажи 1.000.000 куб. м. газа по 7 пф за к. м. 70.000 мар.

Чистого дохода за год $70.000 - 16.140 = 53.860$ марок.

Таким образом газодобывающая установка окупится в два года и в последующие года будет приносить чистой прибыли свыше 60.000 марок в год.

VIII. ЗНАЧЕНИЕ ГАЗОДОБЫВАНИЯ.

Приведенные в предыдущей главе данные, касающиеся экономических выгод газодобыывания, не исчерпывают его значения. Газодобыывание имеет еще и другие выгоды, а именно выгоды санитарного и эксплуатационно-технического характера:

1) При наличии газодобывающего оборудования газ гниения задерживается перекрытиями, собирается газоприемниками и отводится газопроводами к месту его потребления или хранения. Поэтому он не попадает в воздух и не отражается на жителях. Кроме того изолированные перекрытиями камеры гниения ни при каких условиях (кислотное брожение) не распространяют запахов.

2) При наличии перекрытия, совершенно изолирующего камеру гниения от доступа атмосферного воздуха, плавающий слой, образующийся на поверхности содержимого камеры гниения, подвергается также анаэробному распаду, опускается затем ко дну камеры и удаляется вместе с илом. Таким образом, в этом случае значительно упрощается уход за установкой по сравнению с теми устройствами, в которых к поверхности содержимого камер гниения имеется доступ воздуха и где плавающий слой должен удаляться особо ¹⁾.

¹⁾ Особого удаления плавающего ила в этих последних устройствах не требуется в том случае, когда имеются приспособления для перемешивания ила и когда, следовательно, плавающий ил смешивается с илом, оседающим на дно.

Но если в иле содержится много масла и жира, с трудом поддающихся разложению и препятствующих оседанию ила на дно, то даже при наличии перекрытий, защищающих камеры гниения от доступа воздуха и содействующих выгниванию плавающего слоя, последний требует особого удаления.

3) При наличии перекрытий, преследующих цели добывания газа, не может происходить выхода пенящихся масс ила наружу, каковое явление иногда наблюдается в периоды особого «болезненного» состояния Эмшерских колодцев

IX. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ МЕРЫ.

При отсутствии в газе камер гниения сероводорода и лишенности газа запаха, следует соблюдать особую осторожность при очистке камер гниения или каких-либо других работах в них, так как трудно установить находится ли в камере газ или нет. Для предупреждения несчастий рекомендуется в таких случаях при спуске в камеры гниения пользоваться противогазовыми масками.

В некоторых случаях прибегают к искусственной парфюмерии газа гниения меркаптаном.

ИСТОЧНИКИ:

O. K a m m a n n.—Der heutige Stand der Gasgewinnung und — Verwertung aus dem Klärschlamm der Abwasserreinigungsanlagen.

H. Blunk und F. Sierp.—Gewinnung und Verwertung des Gases aus Faulräumen städtischer Kläranlagen.

F. Sierp.—Die Verwertung der Abwässer zur Gasgewinnung.

K. Imhoff.—Die Verwertung des Methans aus Faulräumen.

K. Imhoff.—Fortschritte der Abwasserreinigung.

K. Imhoff.—Die städtische Abwasserreinigung.

Mahr.—Erfahrungen beim Bau und Betriebe der Kläranlage Kettwig.

Heilmann.—Die Verwertung des Faulraumgases.

F. Langbein.—Die Abwasservorkläranlage auf dem Bölkensberge des Berliner Rieselfeldes Wassmannsdorf als Gaslieferer.

Erich Bendler.—Die Vorreinigungsanlage auf dem Rieselfeld Wassmannsdorf

W. Sohler.—Die wirtschaftliche Bedeutung der Klärgasgewinnung auf dem Stuttgarter Hauptkläranlage.

Haller.—Studien über Abwasserchlörung.

William D. Hatfield.—Recovery of Gas From the Decatur Imhoff Tanks.

Материалы заграничной командировки автора летом 1927 года.

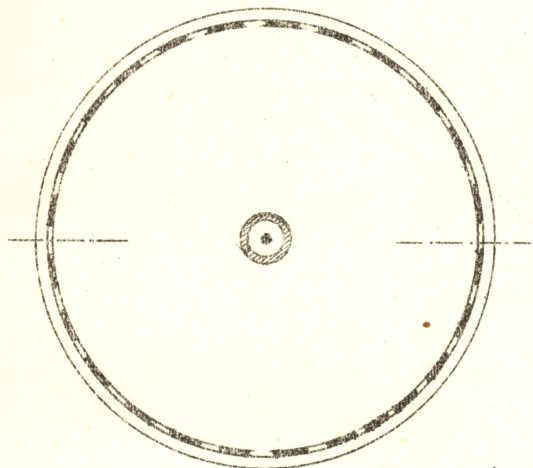
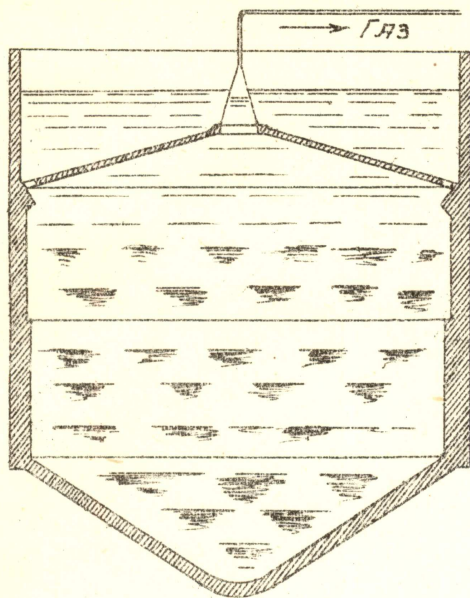


Рис. 1.

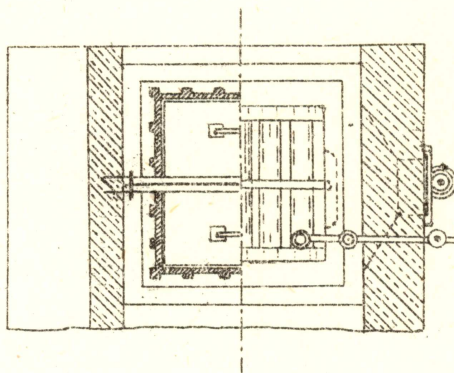
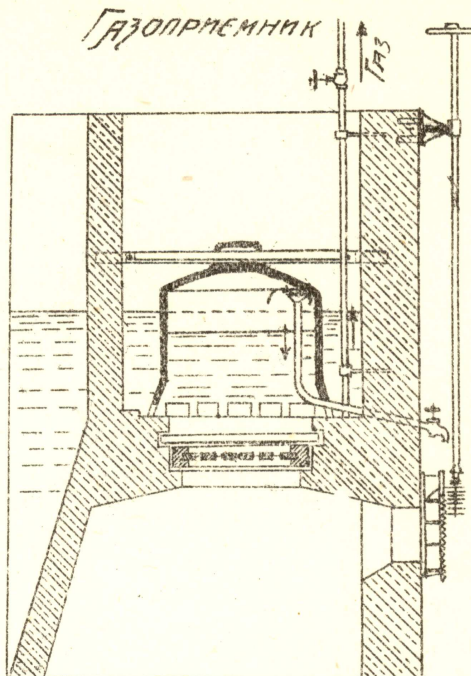


Рис. 3.

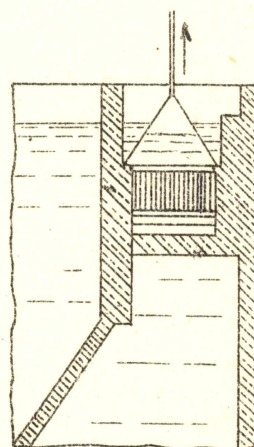
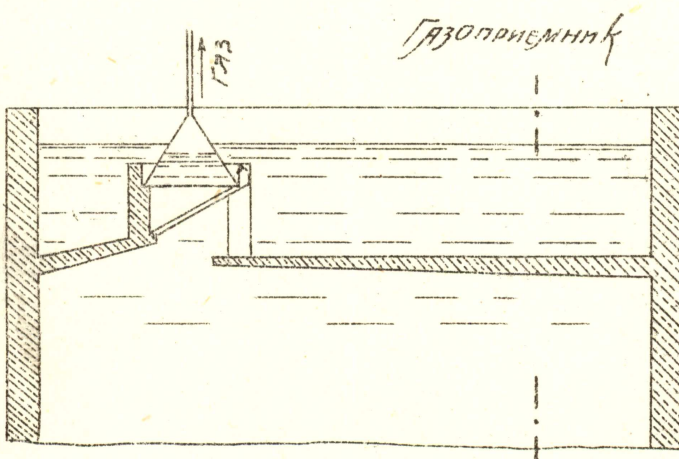
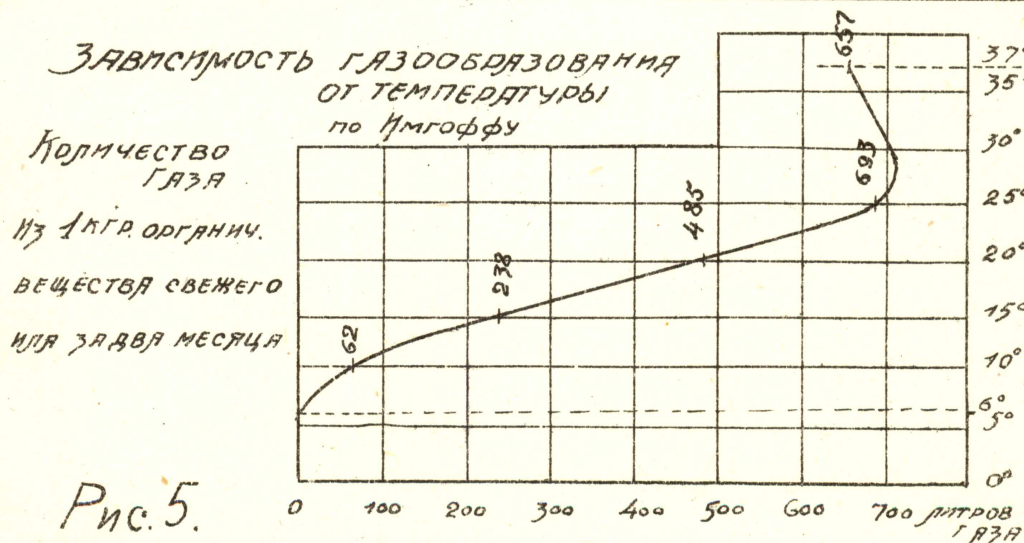
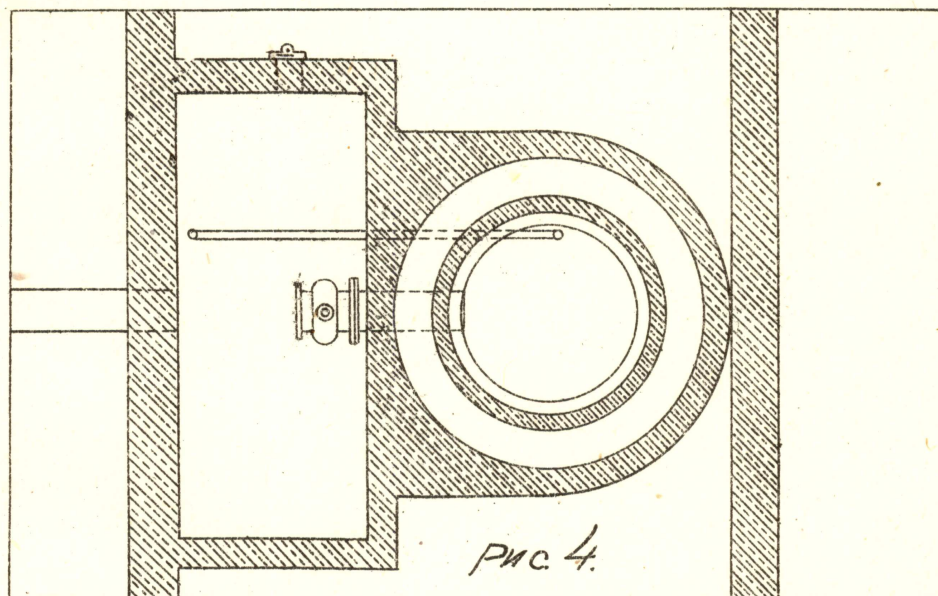
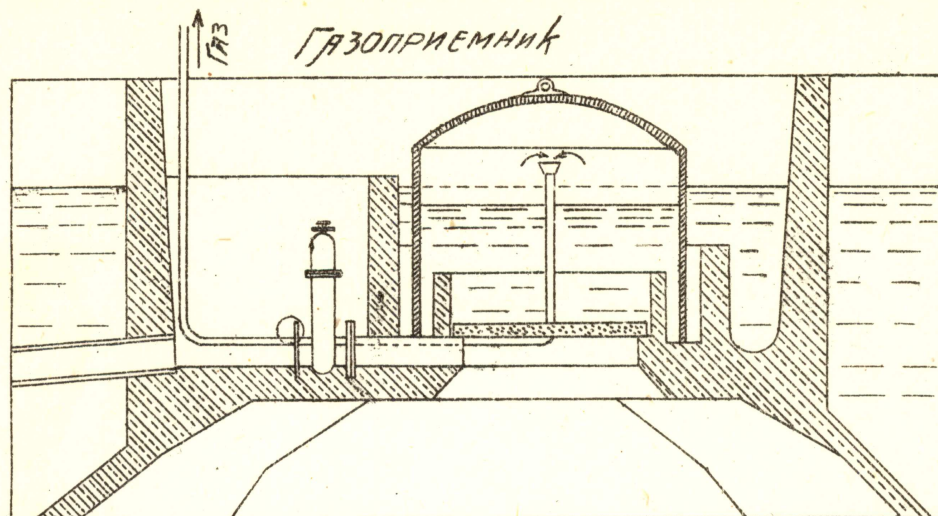


Рис. 2



КОЛИЧЕСТВО ГАЗА

В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ДАННЫМ
ОПЫТОВ В Wandsdorf (БЕРЛИН)

КУБ. М. ГАЗА НА 1000 КУБ. М.
СТОЧНЫХ ВОД

Температура

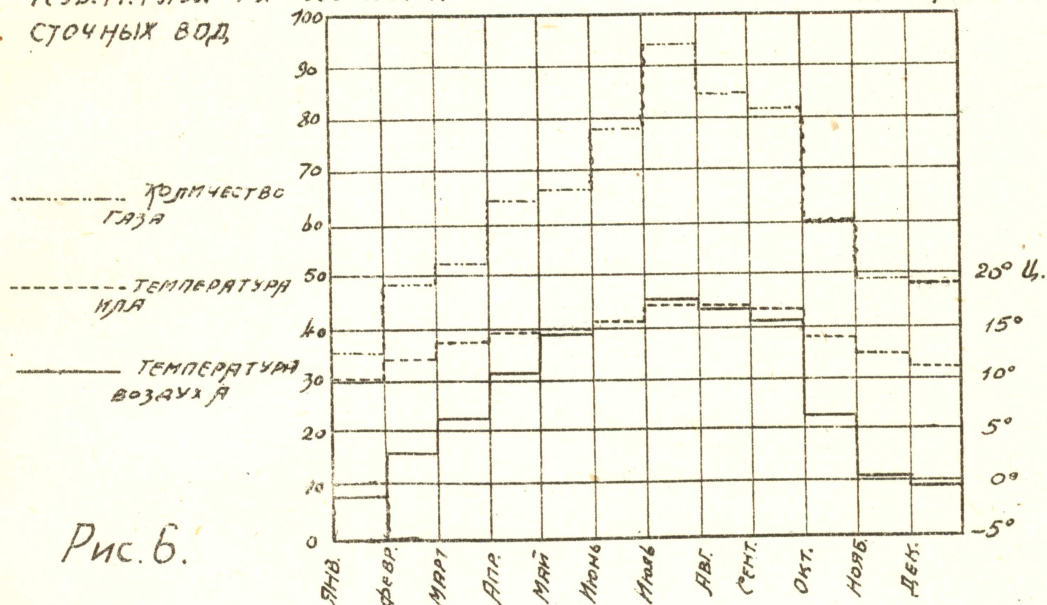


Рис. 6.

ЗАВИСИМОСТЬ ГАЗООБРАЗОВАНИЯ

ОТ ПРЕДВАРИТ. ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД ХЛОРОМ.

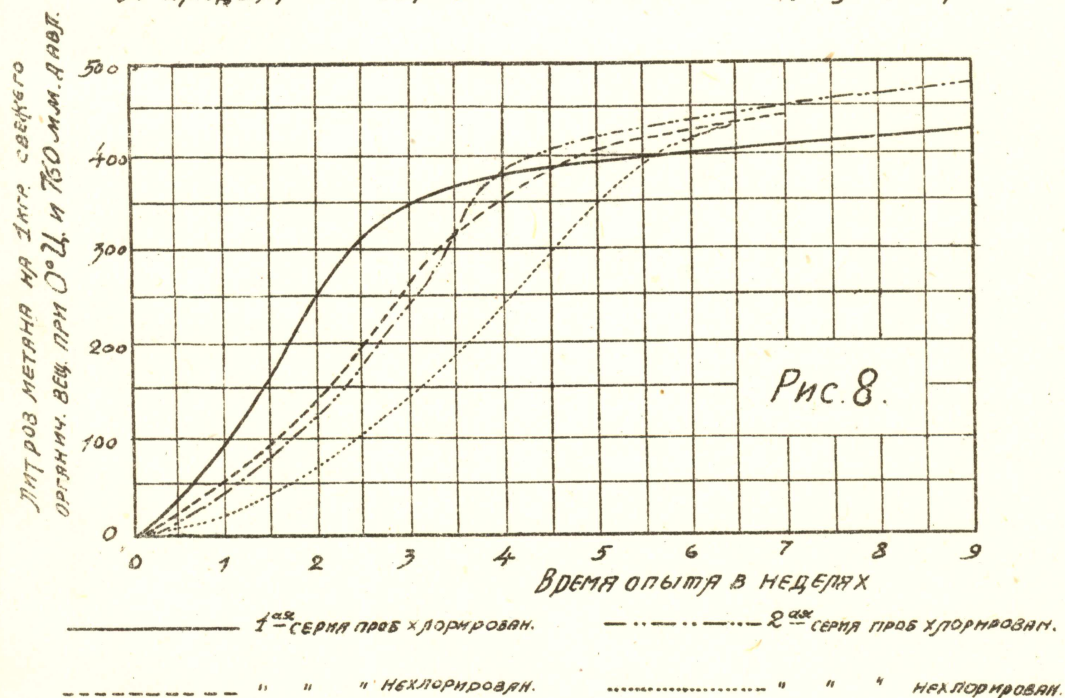


Рис. 8.

КОЛИЧЕСТВО ГАЗА

В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ.

ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО ГАЗА ДОБЫВАЕМОЕ НА ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ
ГОР. ШТУТТГАРТ.

