

Инженер Н. С. МАКЕРОВ

**РАСЧЕТ КАМЕР ГНИЕНИЯ
ДЛЯ КАНАЛИЗАЦИОННОГО ИЛА**

==

Томск
1928

Расчет камер гниения для канализационного ила.

I. Основания для выгнаивания осадка.

Осадок, выделяемый в сооружениях механической очистки сточных вод, в свежем состоянии представляет большие неудобства для его обработки, независимо от метода его последующего использования.

Весьма существенным недостатком такого осадка является, во-первых, большое содержание в нем воды, отражающееся на его объеме и весе, что затрудняет обращение с ним в смысле удаления его за пределы очистной станции.

Необходимость уменьшения в осадке водного содержания путем подсушивания на воздухе выявляет второй недостаток свежего осадка, заключающийся в том, что он по характеру своему поддается сушке с большим трудом. Это свойство свежего осадка объясняется следующими причинами:

- 1) вода, содержащаяся в осадке, значительной своей частью находится внутри клеток растительного происхождения, составляющих большую часть взвешенных веществ, переведенных в осадок; она является как бы запертой внутри этих клеток и не может быть освобождена из них до их разрушения;

- 2) свежий осадок богат коллоидами, обладающими способностью разбухать от воды и образовывать слизь, с трудом отдающую воду;

- 3) свежий ил, при выпуске на сушильные площадки, благодаря тому, что удельный вес его несколько больше удельного веса воды (1,003—1,060), садится вниз и вытесняет иловую воду в верхний слой; осевши на поверхность сушильной площадки, такой ил своими слизистыми частицами закупоривает поры дренирующего материала и препятствует выходу стоящего сверху слоя воды в дренаж.

Практически свойство затруднительной сушки ила требует большего времени для его высыхания; вследствие этого сокращается производительность сушильных площадок, а, следовательно, вызывается потребность в большей их площади. Описанный только что характер свежего ила, являющегося слизистым, тягучим, делает его неблагоприятным материалом, как для сплава его самотеком к месту сушки по желобам или трубам, так и для перекачки насосами.

Дальнейшим недостатком свежего ила является отвратительный запах, которым сопровождается его сушка и который не допускает подобного рода операции вблизи жилых мест.

Кроме того, свежий ил во время сушки привлекает мух, которые массами облепляют его и, конечно, могут явиться причиной инфекций.

Вследствие поименованных выше неблагоприятных качеств свежего ила, в последние годы широко используется выгнаивание осадка, имеющее целью лишить свежий осадок его отрицательных свойств.

При выгнаивании осадка органическое вещество его разлагается, частью превращаясь в растворенное и газообразное состояние. Благодаря этому, твердое вещество осадка значительно уменьшается в объеме. Кроме того, водное содержание, вследствие разложения коллоидов и

клеточных оболочек, до этого задерживавших воду, сильно понижается. Если свежий ил содержит в среднем свыше 90% воды, то выгнивший содержит в среднем лишь 80%. Таким образом, путем выгнаивания, объем ила, а, следовательно, и вес его весьма значительно уменьшается¹⁾, чем устраняется один чрезвычайно существенный недостаток свежего ила.

Затем, по выгнаивании, ил приобретает способность быстро сохнуть на дренированных сушильных площадках, чему содействуют следующие обстоятельства:

1) по строению своему, после разложения коллоидов и клеточных веществ, выгнивший ил не задерживает воды и легко ее отдает;

2) в момент выпуска на сушильные площадки, выгнивший ил содержит в себе пузырьки газа, а потому обладает удельным весом, меньшим удельного веса воды; поэтому, будучи выпущенным на сушильные площадки, такой ил всплывает на поверхность иловой воды; последняя таким образом свободно уходит в дренаж;

3) в дальнейшем пузырьки газа улетучиваются из ила и остаются в последнем поры, которые способствуют просыханию.

Последние два обстоятельства особенно сильно проявляются при выпуске ила со дна глубоких камер гниения.

Практически свойство выгнившего ила быстро сохнуть обуславливает собою потребность в меньших сушильных площадях.

Далее, выгнивший ил обладает способностью, несмотря на меньшее содержание воды, свободнее течь по лоткам и трубам и легче перекачиваться насосами, чем свежий ил с его большим водным содержанием. Это свойство приобретается илом вследствие разложения клеточного вещества и коллоидов, отчего разложившееся вещество как бы находится в воде, а не наоборот, как то имеется в свежем иле, когда вода как бы находится внутри вещества. Что большая подвижность, текучесть вещества в меньшей степени зависит от содержания в нем воды и в большей степени от его структуры, Imhoff иллюстрирует следующим интересным примером: огурец, т.-е. твердое тело, содержит около 95% воды, в то время как молоко, например, т.-е. жидкость, содержит в среднем 87% воды; очень мелкий угольный ил даже при содержании в 40—50% может быть еще совершенно жидким.

Наконец, выгнивший ил не обладает уж тем неприятным запахом, который свойственен свежему осадку, и не привлекает насекомых. Последние свойства выгнившего ила позволяют производить его обработку вблизи жилых мест.

II. Типы камер гниения.

Выгнаивание осадка производится в камерах гниения различных типов²⁾, представляющих собою следующие группы:

1. Проточные камеры гниения:

а) одноярусные, типа септик-танков, представляющие собою осадочные бассейны, которые, благодаря большому объему, позволяют производить накопление в них осадка и выгнаивание последнего;

¹⁾ См. кривую уменьшения веса ила в зависимости от уменьшения содержания воды, приведенную в статье автора „Механическая очистка сточных вод в связи с обработкой ила“, помещенной в № 3—4 „Вестника Сибирских Инженеров“ за 1928 г.

²⁾ Характеристика и оценка этих типов имеется в статье автора „Механическая очистка сточных вод в связи с обработкой ила“, помещенной в № 3—4 „Вестника Сибирских Инженеров“ за 1928 год.

б) двух-ярусные, типа тэнков Travis'a и Dywidag, у коих верхние ярусы служат для выделения взвешенных веществ, а нижние—для собирания последних и выгнаивания.

2. **Непроточные камеры гниения двух-ярусные**, типа Эмшерских колодцев. В последних верхний ярус служит для протока сточных вод и выделения взвешенных веществ, нижний—для собирания осадка и его выгнаивания.

3. **Отдельные камеры гниения**, устраиваемые или

а) на некотором удалении от сооружений, в которых производится выделение из сточной воды взвешенных веществ, или

б) в непосредственной близости с осадочными устройствами, будучи отделенными от последних лишь тонкими стенками (Нейштадтские бассейны, установки Prüss'a).

4. **Комбинация из двух-ярусных сооружений** (типа Эмшерских колодцев) и отдельных камер гниения (типа 3 а). В этом случае в камерах гниения Эмшерских колодцев выгнаивание осадка не доводится до конца, для выгнаивания до желательного предела осадок подается в отдельные камеры гниения.

Расчет емкости камер гниения для всех перечисленных типов производится одинаковыми методами, учитываются лишь особые условия, зависящие от типа камеры и ее конструкции и вызываемые, главным образом, различием теплового режима для камеры того или иного вида, а кроме того, и некоторыми другими обстоятельствами, которые будут выяснены ниже.

III. Расчет камер гниения,

А. Факторы, влияющие на размеры камер гниения.

При расчете камер гниения должны быть приняты во внимание нижеследующие факторы, оказывающие влияние на их размеры:

1. **Количество свежего ила и его характер.** Этот фактор является основным при расчете объема камер гниения. Действительно, чем больше ила поступает в камеру гниения, тем больше должен быть при прочих равных условиях ее объем. Характер же ила оказывает влияние на объем камеры гниения в том смысле, что наличие в иле кислот или ядовитых веществ, вредных для жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов, может повести к замедлению процесса гниения. Последнее же обстоятельство отразится на пропускной способности камеры гниения и, следовательно, потребует большего ее объема.

На количество же ила, поступающего для обработки в камеру гниения, оказывают влияние в свою очередь следующие факторы:

а) **Количество сточных вод**, протекающих через очистную установку. Чем большее, при прочих равных условиях, количество сточных вод протекает через установку, тем большее количество осадка эти воды оставляют. Однако, при различном характере сточных вод или при различной работе осадочных устройств один и тот же расход сточных вод может дать далеко не одинаковые количества ила. Чем больше в сточной воде содержится взвешенных веществ и чем совершеннее работает установка по выделению этих веществ из воды, тем большее количество ила будет осаждено на один и тот же объем воды.

б) **Число жителей.** Более правильно при расчете количества ила для городских очистных установок исходить из числа жителей, так как количество ила, приходящееся на жителя, является более постоянной величиной, чем количество ила, приходящееся на объемную единицу воды при различных нормах водопотребления на жителя. Metcalf

и Eddy приводят в пример один небольшой город штата Массачусетс, где с изменением в расходе сточных вод от 110 литр. до 426 литр. на жителя, количество осадка варьировало от 4,27 литр. до 0,91 литр. на куб. м. сточных вод. Количество же ила, приходящееся на жителя, варьировало лишь от 0,29 литр. до 0,41 литр.

в Характер сточных вод. Особое значение имеют промышленные сточные воды. Правда, для городов со слабо развитой промышленностью эти воды в расчет не принимаются. Но если промышленные воды составляют значительный процент в общем расходе сточных вод и если они несут большое количество ила, то они должны быть учтены особо. В этом случае должно быть определено, как велико количество промышленного ила по отношению к количеству ила хозяйственных вод и соответственно отнесено к жителю.

г) Система канализации. Некоторые (напр., Frank и Fries), имея в виду осадок, который могут дать добавочно на жителя атмосферные воды при общесплавной системе канализации, считают необходимым придавать камерам гниения при общесплавной системе добавочный объем по сравнению с камерами гниения при системе канализации раздельной. Впрочем, другие (Imhoff, в последнее время) полагают, что система канализации не должна оказывать влияния на размеры камеры гниения, так как через ливнепуски при общесплавной системе теряется столько же ила, сколько через ливневую сеть при раздельной.

д) Содержание в сточной воде взвешенных веществ. Чем больше в кубич. единице сточной воды содержится взвешенных веществ, тем при прочих равных условиях более получается ила и тем, следовательно, большие размеры должна получить камера.

е) Работа осадочных устройств по задержанию взвешенных веществ. Чем совершеннее работа осадочных устройств по выделению из сточной воды взвешенных веществ, чем больший процент взвешенных веществ задерживается в осветлительных сооружениях, тем при прочих одинаковых условиях больше образуется осадка. На указанное обстоятельство оказывает влияние в свою очередь конструкция и метод эксплуатации осадочного устройства.

ж) Содержание воды в иле. Чем при прочих равных условиях богаче водою ил, тем большим объемом он обладает и тем, следовательно, больший объем должно придать камере. Содержание воды в иле зависит от конструкции сооружений, в которых производится выделение из воды осадка. Так, например, осадочные бассейны дают ил с содержанием воды от 88 до 96% и даже выше, колодцы Кремера с иловыми цилиндрами—значительно меньше: по свидетельству д-ра Kusch содержание воды в иле из этих колодцев снижается до 85—88% даже до 83—81,5% (в гор. Hildesheim).

Imhoff приводит следующие данные, касающиеся количества ила в зависимости от содержания в нем воды, которыми он рекомендует руководствоваться при расчетах.

1. При бассейнах, из которых свежий ил удаляется под водой—1,8 литр. ила на человека в день с 97,5% воды.

2. Если свежий ил тщательно отделяется от воды—0,9 литр. ила на чел. в день с 95% воды.

Prüss принимает 1 литр свежего ила на чел. в день с 95% воды¹⁾.

2) **Степень уменьшения объема ила при выгнивании.** При расчете камер гниения должно быть принято во внимание то обстоятельство

¹⁾ Т. е. ежедневно на жителя выпадает в иле 50 грамм сухого вещества, из них 60—70% или 30—35 грамм органического характера.

ство, что при гниении ила объем его уменьшается. Это обстоятельство объясняется тем, что в процессе гниения взвешенные вещества органического характера, заключающиеся в иле, частью растворяются, частью обращаются в газы, а потому количество веществ, остающихся в твердом состоянии, уменьшается. Кроме того, характер последних таков, что они в значительно меньшей степени связывают воду, а потому и водное содержание в выгнившем иле значительно меньшее, чем в свежем, когда он поступает в камеру гниения.

Содержание воды в выгнившем иле зависит также от конструкции камер гниения: глубокие камеры дают ил с меньшим содержанием воды, чем мелкие камеры. Последнее обуславливается тем обстоятельством, что в более глубоких камерах ил находится под большим гидростатическим давлением.

Выгнивший ил содержит 75—80% и до 85% воды.

Imhoff для выгнившего ила дает норму 0,2 литр. на человека в день с 80—85% воды.

Степень уменьшения количества ила зависит в общем от различного рода факторов, как например:

- а) время, в течение которого осадок подвергается выгнаиванию;
- б) температура, при которой происходит гниение осадка;
- в) степень перемешивания ила в камере гниения;
- г) свежий ли осадок вводится в камеру гниения или находящийся в периоде кислотного брожения;
- д) конструкция камеры гниения.

Факторы эти будут подробно рассмотрены ниже в связи с другими обстоятельствами.

Практически же степень уменьшения количества ила обуславливается необходимой степенью выгнаивания осадка. А именно, считается необходимым и достаточным довести ил до такого состояния, когда он теряет неприятный запах и приобретает способность легко подсыхать на воздухе. Этот предел выгнивания, называемый „техническим пределом выгнивания“, соответствует уменьшению на половину органического сухого вещества и выходу около $\frac{3}{4}$ полного возможного получить количества газа.

3) Время выгнивания. Время выгнивания представляет собою существенный фактор, оказывающий влияние на объем камеры гниения, так как чем дольше находится ил в камере, тем пропускная способность камеры меньше и тем, следовательно, больший объем должен быть ей придан.

Время выгнивания зависит в свою очередь от следующих обстоятельств:

а) от необходимой степени выгнивания, обуславливаемой, как было выше указано, „техническим пределом выгнивания“. Время, необходимое для достижения этого технического предела гниения, составляет примерно половину того времени, которое необходимо для полного выгнивания.

б) от температуры. Чем выше температура ила (до определенного предела), тем процесс гниения идет быстрее; чем ниже температура,—тем медленнее. Оптимальной температурой является по Sierp'у для газообразования 25° Ц, для разложения 36,5° Ц. Ниже этих температур процессы газообразования и разложения замедляются и при температуре ниже 6° Ц газообразование прекращается, разложение же хотя и происходит, но чрезвычайно медленно.

На рис. 1 представлена диаграмма, приводимая Imhoff'ом, которая показывает на основании большого числа опытов влияние температуры на необходимое время гниения. Здесь представлены две кривые: одна—верхняя, сплошная дает зависимость от температуры времени полного выгнивания ила; другая, нижняя, пунктирная линия изображает зависимость от температуры времени, необходимого для достижения технического предела выгнивания.

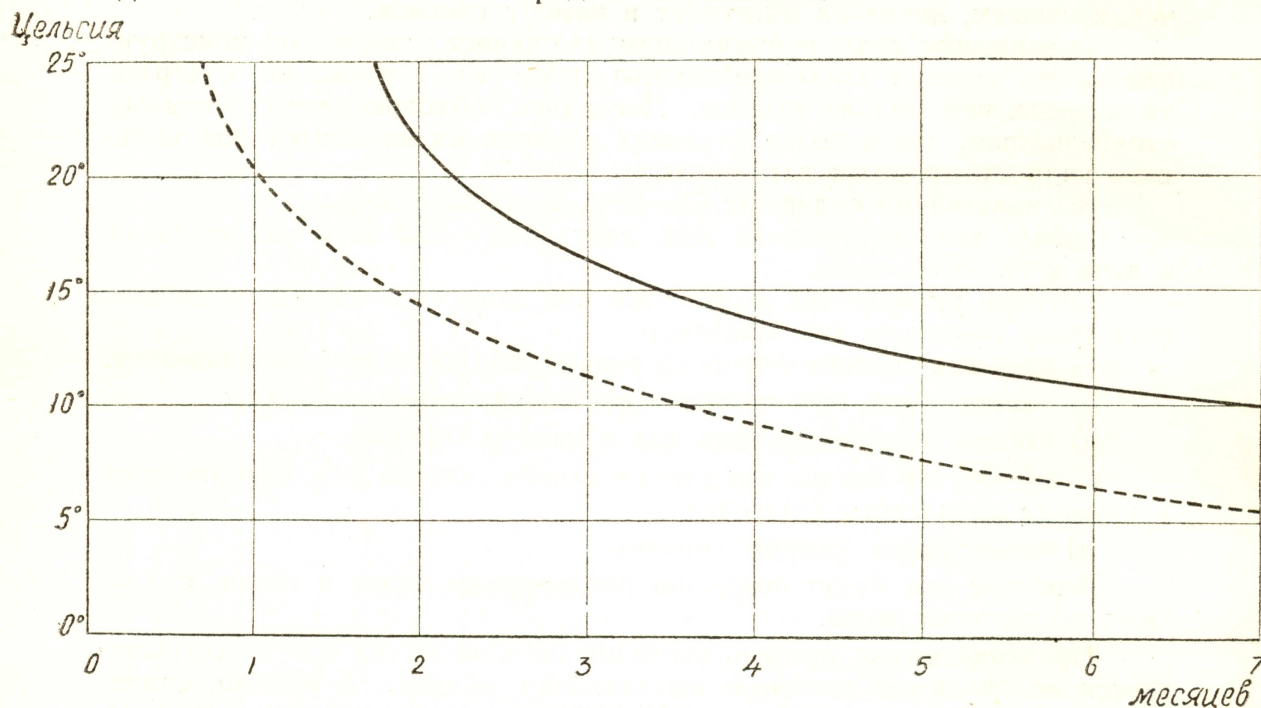


Рис. № 1.

Температура в свою очередь находится отчасти в зависимости от конструкции камер гниения.

С этой точки зрения камеры гниения проточные, а затем непроточные двух—ярусные и отдельные камеры гниения типа Нейштадтских бассейнов и системы Prüss'a являются более выгодными, чем отдельные камеры гниения, устраиваемые на расстоянии от осадочных сооружений. Выгода заключается в том, что в них температура поддерживается на определенной высоте, благодаря обогреванию их через стенки теплотой сточной воды, протекающей через камеры осаждения.

Отдельные же камеры гниения, удаленные от камер осаждения и не обогреваемые их теплом, находятся в худших температурных условиях, так как зависят от температуры атмосферного воздуха: в зимнее время температура камер гниения этого рода может значительно понижаться.

Таким образом объем камеры гниения может быть правильно определен только тогда, когда заранее можно знать ее температуру.

При проточных камерах гниения, при двух-ярусных сооружениях и при отдельных камерах гниения типа Нейштадтских бассейнов и системы Prüss'a температура камер гниения может быть заранее предсказана, когда известна температура сточных вод, так как температура камер гниения этого рода почти равняется температуре сточных вод. В этом случае за среднюю годовую температуру камеры гниения ю годовую температуру сточных вод.

Ниже дается приводимая Imhoff'ом таблица I, в которой представлены температуры сточных вод различных городов и время, необходимое для выгнивания осадка в вработавшихся (зрелых) камерах гниения двух-ярусного типа (а следовательно, проточных, а также Нейштадтского типа и системы Prüss'a). Время это определено на основании диаграммы, изображенной на рис. 1.

Таблица I
времени, необходимого для выгнивания ила в камерах гниения двух-ярусного типа.

НАЗВАНИЕ ГОРОДА	Средние температуры сточных вод в град. Цельс		Необходимое время гниения
Gorlitz	9	9°	4 1/2 мес.
St. Gallen (Швейцария)	9,5		
Witten	11,5		
Hagen	11,7		
Chicago-Calumet (САСШ)	11,7		
Toronto (Канада)	11,8	12°	3 мес.
Rochester, N. Y. (САСШ)	12		
Essen—Frohnhausen	12		
München	12		
Erfurt	12		
Jserlohn	12,4		
Pforzheim	12,4		
Halle	12,7		
Nürnberg	12,8		
Birmingham (Англия)	14,5	15°	2 мес.
Stuttgart	14,5		
Recklinghausen	15		
Essen—Rellinghausen	15		
Bochum	16,5	17°	1 1/2 мес.
Pasadena, Cal. (САСШ)	16,7		
Berlin	17,2		
Steele	18,2		
Essen	18,5		
Decatur (САСШ)	26,7°		3/4 мес.

Для отдельных камер гниения, не обогреваемых сточными водами, температуру определить труднее: она только в незначительной степени зависит от первоначальной температуры ила. В большей степени она зависит от температуры воздуха. В общем средняя годовая температура камер гниения этого рода ниже, чем температура камер гниения, омываемых сточными водами. Для отдельных камер гниения, не обогреваемых теплом сточных вод, чрезвычайно существенными вопросами являются тепловая изоляция и искусственное повышение температуры¹⁾, позволяющие поддержанием температуры камер гниения на определенной высоте сокращать время выгнивания осадка, а, следовательно, и уменьшать объем камеры выгнивания.

При искусственном обогреве камер гниения потребное количество тепловой энергии будет различным в зависимости от содержания воды в иле. Чем больше содержит ил воды, тем больше топлива потребуется для обогрева камеры гниения. Например, если при вводе в отдельную камеру гниения ила с содержанием воды в 90% требуется некоторое определенное количество топлива для повышения температуры камеры гниения с 9° до 21°, т. е. на 12°, то при поступлении в камеру гниения ила с содержанием воды в 95% тем же количеством топлива температуру камеры гниения можно повысить лишь на 6°, т. е. с 9° до 15°. В этом случае объем камеры гниения по сравнению с первоначальным, согласно диаграммы, представленной на рис. I, должен быть увеличен в 2 раза, или для сохранения того же объема следует соответственно повысить расход топлива.

в) Время гниения зависит от продолжительности холодного времени года, когда процесс гниения по достижении камерой гниения предельных низких температур может даже совершенно приостановиться. В таком случае поступление за этот период свежего ила и накопление его поведет к тому, что весной камера гниения должна будет снова пройти через весь период созревания. Созревание же камер гниения совершает длинный путь через кислое брожение и требует времени в 2^{1/2} раза больше того, которое необходимо для переработки ила в камерах уже „вработавшихся“, созревших.

Во избежание этого можно пользоваться искусственным обогревом камер гниения или, по крайней мере, как то рекомендует Imhoff, искусственным обогревом хотя бы части камеры: в таком „инкубаторе“ должен поддерживаться хороший щелочной ил, который весной мог бы ускорить созревание остальной части камеры гниения.

г) Время гниения находится в зависимости от степени кислотности поступающего в камеру гниения ила.

При нормальной работе камеры гниения, во „вработавшуюся“ камеру со щелочным илом поступает свежий ил, который перемещается естественным или искусственным путем со щелочным илом и переходит сразу в нормальное щелочное брожение.

Если же ил притекает к камере гниения в состоянии кислого брожения, то этот ил в состояние нормального щелочного брожения может быть переведен лишь с известными трудностями и с потерей времени.

По свидетельству Imhoff'a вред от притока в камеру гниения кислого ила можно устранить или смешиванием этого ила со старым в пропорции 1:4, или добавлением извести.

¹⁾ Об изоляции и искусственном повышении температуры камер гниения см. статью автора „Механическая очистка вод в связи с обработкой ила“, помещенную в № 3-4 „Вестника Сибирских Инженеров“ за 1928 год.

Если же вследствие особых обстоятельств ил к очистной установке поступает уже выгнившим или в состоянии щелочного брожения, то время гниения может быть соответственно уменьшено.

д) Время гниения зависит от совершенства перемешивания содержимого камеры гниения, необходимость чего обуславливается требованиями: наиболее скорой прививки свежему илу бактерий гниения и наилучшего удаления продуктов жизнедеятельности бактерий из сферы их работы.

В этом отношении весьма существенным является применение мер искусственного перемешивания, могущих сократить время выгнивания в два раза.

В этом же смысле должно обратить внимание на способ впуска ила в камеру гниения: при камерах большой площади необходимо стремиться в целях наилучшего смешения ила к впуску его в нескольких местах малыми порциями.

4) **Степень использования камеры.** Объем камеры гниения находится в зависимости от степени использования камеры, т. е. от того, насколько полно утилизируется ее объем. В этом смысле, например, в Эмшерских колодцах американизированного типа устраиваются отверстия в перегородках между отделениями камеры гниения, служащие для равномерного распределения ила по отделениям. С той же целью периодически меняют направление течения сточной воды в камерах осадения.

5) **Размер установки.** Объем камеры гниения зависит, наконец, от размера установки, а именно: при установках малого размера относительный объем камеры гниения берется больше, чем при установках большого размера. Это объясняется тем соображением, что при малых установках возможен худший уход и надзор, с чем связано несвоевременное производство операций того или иного рода, касающихся эксплуатации камер гниения, а, следовательно, должен иметься некоторый запас объема камер.

Б. Методы определения размера камер гниения.

Обилие тех факторов, которые оказывают влияние на величину камер гниения, показывает, что определение размеров камер гниения представляет не простую операцию. Принимая же во внимание невозможность заранее учесть некоторые из этих факторов, можно сказать, что точный расчет емкости камер гниения вообще невозможен. Имея в виду, что при определении объема камер гниения приходится часто оперировать со многими неизвестными, довольствуются лишь приблизительным расчетом; главным образом используют опыт других городов, находящихся, как по характеру сточных вод, так и по другим условиям, в одинаковом положении с городом, для которого рассчитывается сооружение.

В дальнейшем излагаются некоторые методы расчета камер гниения.

1. **Metcalf и Eddy** для расчета камер гниения рекомендуют пользоваться следующим методом:

а) по анализам сточных вод или изучению их источника определяется количество взвешенных веществ, заключающихся в единице объема сточных вод.

б) принимается или определяется $\%_{10}$ взвешенных веществ, осаждающихся в осадочных устройствах.

в) принимается, какой процент взвешенных веществ может выгнить в камере гниения и какой процент, следовательно, остается в камере гниения.

г) принимается % влажности ила и тогда определяется количество ила.

На основании этих данных, зная расход сточных вод и время, на которое камера гниения рассчитывается, можно вычислить объем камеры.

2. **Bach** указывает следующий способ:

а) определяется количество свежего ила, которое выпадает за время хранения ила в камере гниения.

б) определяется количество ила, на которое уменьшается общее количество вследствие выгнивания, сседания и обезвоживания.

в) определяется разница между этими количествами, дающая объем выгнившего ила.

Но так как в камере гниения будет находиться не только выгнивший ил, пролежавший уже необходимое время, а также ил, поступивший и за все это время, то за объем камеры принимается примерно средний между объемом свежего ила и объемом выгнившего ила. Объем этот будет достаточным, если выпуск выгнившего ила из камеры гниения производить ежедневно в том объеме, в каком он ежедневно поступает в свежем состоянии. Фактически же ил выпускается через некоторые более длинные промежутки времени, обусловливаемые дальнейшей обработкой ила (напр., наличием свободных сушильных площадок), поэтому размер камеры должен быть соответственно увеличен.

Пример:

Положим, что в осадочных устройствах осаждается ежедневно 10 куб. метр. ила с содержанием воды в 95%. Пусть необходимое время выгнивания 60 дней. Выгнивший ил, положим, содержит 80% воды.

Тогда, если ил с содержанием 95% воды и 5% сухого вещества имеет объем 0,5 куб. м. сухого вещества и 9,5 куб. м. воды = 10 куб. м., то ил с содержанием 80% воды и 20% сухого вещества будет иметь объем 0,5 куб. м. ¹⁾ сухого вещества и 2,0 куб. м. воды = 2,5 куб. м. Поэтому свежего ила за 60 дней будет $10 \times 60 = 600$ куб. м., а выгнившего за тот же период $2,5 \times 60 = 150$ куб. м.

Средний объем между объемом свежего и выгнившего ила будет

$$\frac{600 + 150}{2} = 375 \text{ куб. м.}$$

Принимая выпуск ила из камер гниения один раз в неделю, следует прибавить к полученному объему еще около 70 куб. м., т. е. полный объем камеры гниения должен быть $375 + 70 = 445 \approx 450$ куб. м.

3. **Hugo Knauer**, указывая, что ил, находящийся в камере гниения в течение около 80 дней, теряет ежедневно около $\frac{1}{120}$ своего объема, т. е. что через 80 дней в первый день выпавший ил занимает лишь около $\frac{1}{3}$ своего первоначального объема, производит расчет камеры гниения из следующих соображений.

Пусть: s — количество ила, ежедневно поступающее в камеру.

n — число дней для выгнивания ила

$\frac{1}{a} = \frac{1}{120}$ ежедневное уменьшение первоначального объема ила.

Тогда через p дней:

¹⁾ Уменьшение сухого вещества при выгнивании в расчет не принято.

Количество ила, выпавшее в течение первого дня, выразится формулой:

$$s - \frac{n-1}{a} s$$

количество ила, выпавшее в течение второго дня, выразится формулой.

$$s - \frac{n-2}{a} s \text{ и т. д.}$$

Суммируя все количества ила, выпавшие за n дней, получаем общий объем ила, а, следовательно, объем камеры.

$$\begin{aligned} S &= \left(s - \frac{n-1}{a} \cdot s \right) + \left(s - \frac{n-2}{a} \cdot s \right) + \dots + \left(s - \frac{n-(n-1)}{a} \cdot s \right) + s = \\ &= s \left[\left(1 - \frac{n-1}{a} \right) + \left(1 - \frac{n-2}{a} \right) + \dots + \left(1 - \frac{1}{a} \right) + 1 \right] = \\ &= s \left[n - \frac{(n-1) + (n-2) + \dots + 3 + 2 + 1}{a} \right] = \\ &= s \left[n - \frac{1 + (n-1)}{2a} \cdot (n-1) \right] = \\ &= s n \left(1 - \frac{n}{2a} + \frac{1}{2a} \right) \end{aligned}$$

Пренебрегая в скобках выражением $\frac{1}{2a}$, получим окончательно формулу для объема камеры:

$$S = s n \left(1 - \frac{n}{2a} \right)$$

Исчисленные по этой формуле для различных значений объема камер гниения, выраженные через ежедневную порцию свежего ила, представлены в таблице II.

Таблица II.

емкости камер гниения (S) в зависимости от времени гниения (n) и ежедневной порции свежего ила (s).

Время в днях (n)	20	30	40	50	60	70	80
Объем камер гниения (S)	18s	26s	33s	39s	45s	49s	53s

4. По данным **F. Langbein** для расчета камер гниения Эмшерских колодцев на берлинских полях орошения Wassmannsdorf пользовались следующим способом;

Принимая, что ежедневно выпадает S куб. м. ила и что ил, находясь в камере гниения, уменьшается в объеме ежедневно на $(1/a = 1/120)$, но не от первоначального объема, как то принимает Кнауер, а от того объема, который каждый день имеет уже соответственно уменьшившийся в объеме ил, можно записать следующие выражения:

К концу первого дня ил будет иметь объем не s , а уменьшенный на $\frac{s}{a}$ т. е.

$$S_1 = s - \frac{s}{a} = s \left(1 - \frac{1}{a} \right) = s'$$

К концу второго дня общее количество ила будет иметь объем:

$$\begin{aligned} S_2 &= s \left(1 - \frac{1}{a} \right) + s' \left(1 - \frac{1}{a} \right) = s \left(1 - \frac{1}{a} \right) + s \left(1 - \frac{1}{a} \right)^2 = \\ &= s \left[\left(1 - \frac{1}{a} \right) + \left(1 - \frac{1}{a} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

К концу третьего дня общее количество ила будет иметь объем:

$$S_3 = s \left[\left(1 - \frac{1}{a} \right) + \left(1 - \frac{1}{a} \right)^2 + \left(1 - \frac{1}{a} \right)^3 \right]$$

К концу n -ого дня (принимая время гниения n дней), ил будет иметь объем:

$$\begin{aligned} S_n &= s \left[\left(1 - \frac{1}{a} \right) + \left(1 - \frac{1}{a} \right)^2 + \left(1 - \frac{1}{a} \right)^3 + \dots + \left(1 - \frac{1}{a} \right)^{n-1} + \left(1 - \frac{1}{a} \right)^n \right] = \\ &= s \frac{\left(1 - \frac{1}{a} \right) - \left(1 - \frac{1}{a} \right)^{n+1}}{1 - \left(1 - \frac{1}{a} \right)} = s a \left[\left(1 - \frac{1}{a} \right) - \left(1 - \frac{1}{a} \right)^{n+1} \right]. \end{aligned}$$

При подстановке принятых для расчета в данном случае (Wassmannsdorf) цифр, а именно:

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{120}$$

$$n = 90 \text{ дней}$$

$$s = 360 \text{ куб. м. (при 90.000 куб. м. ежедневного притока сточных вод и 0,4‰ осадка)}$$

получается общий объем камер гниения:

$$S_{90} = 360 \cdot 120 \cdot \left[\frac{119}{120} - \left(\frac{119}{120} \right)^{91} \right] = 23 \cdot 000 \text{ куб. м.}$$

Принято 24.000 куб. м.

5. Imhoff, учитывая трудность расчета камер гниения по количеству и свойствам ила и по времени выгнивания, так как при составлении проекта количество и свойства ила почти никогда неизвестны и так как заранее трудно сказать, по какому закону будет убывать содержание органического вещества и воды в иле, рекомендует определять объем камеры гниения на основании примеров существующих установок, принимая во внимание определенные признаки.

На основании некоторых излагаемых ниже средних данных он принимает объем камеры гниения в 30 литр, на жителя. Это число Imhoff называет „основным“, соответствующим следующим данным: количество свежего ила, поступающее ежедневно в камеру гниения, составляет 0,9 литр. на человека в день (при 5‰ сухого вещества и 95‰ воды); время гниения 2 месяца; за этот период времени ил уменьшается в объеме до 0,2 литр. на чел. в день (при 15—20‰ сухого

вещества и 80—85% воды), при чем это уменьшение идет примерно по нижней кривой диаграммы, изображенной на рис. 2.

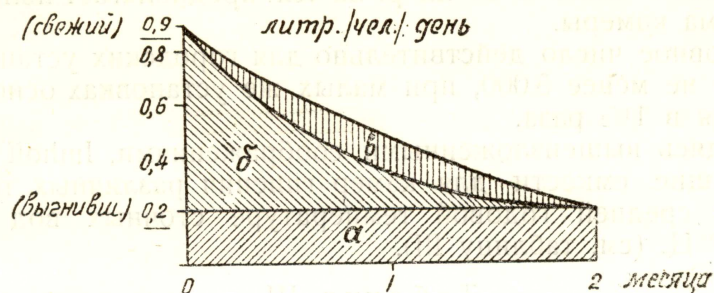


Рис. № 2.

Тогда необходимый размер камеры гниения изображается заштрихованной площадью, состоящей из трех частей:

$a = 0,2 \times 60 = 12$ литр. на чел. = объем выгнившего ила

$b = 12$ литр. на чел. = добавочный объем ила поступающего во время гниения.

$v = 6$ литр. на чел. = добавка на возможные колебания.

Итого 30 литр. на чел. = Объем камеры гниения.

Отступления от средних обозначенных выше условий влекут за собой изменения основного числа соответственно следующим данным.

а) основное число в 30 литр. на чел. включает также ил от обычных промышленных вод. Если промышленные воды дают особо большое количество ила, то к основному числу должна быть сделана надлежащая добавка. Imhoff рекомендует при наличии промышленного ила основное число увеличивать до двойного размера.

б) Основное число в 30 литр. на чел. действительно для времени выгнивания в 2 месяца; последнее же соответствует средней годовой температуре ила в 15°C . При всяких других температурах потребное время гниения изменяется по диаграмме, представленной на рис. 1, и соответственно должно быть изменено и основное число. Например, при средней годовой температуре ила в 10°C . время выгнивания увеличивается до 4 мес, т. е. в 2 раза и соответственно объем камеры должен рассчитываться, исходя из нормы в $30 \times 2 = 60$ литр. на чел.

в) Основное число является действительным для „вработавшихся“, зрелых камер гниения, содержимое коих находится в щелочном брожении, и при попадании в кои свежий ил, перемешиваясь со старым, подвергается сразу щелочному распаду, минуя кислое брожение. Если же смешивание свежего ила, естественное или искусственное, совершенно или частично отсутствует, основное число по роду камеры гниения увеличивается до $2^{1/2}$ раз.

г) Основное число предполагает поступление в камеру гниения свежего ила. Если же ил поступает в камеру гниения в состоянии кислого брожения, то основное число должно быть увеличено, смотря по степени кислотности ила до двойного размера.

д) Основное число соответствует определенному количеству ила на человека, указанному выше и зависящему от содержания в нем

того или иного количества сухого вещества и воды. При иле иных качеств основное число должно быть соответственно изменено.

е) Основное число в 30 литр. на чел. предполагает полное использование объема камеры.

ж) Основное число действительно для городских установок с числом жителей не менее 5.000, при малых же установках основное число увеличивается в $1\frac{1}{2}$ раза.

Руководясь вышеизложенными соображениями, Imhoff устанавливает следующие емкости для камер гниения различных типов, соответствующие средней годовой температуре сточных вод в 15°Ц . и воздуха в 10°Ц . (см. таблицу III).

Таблица III

объем камер гниения различных типов при температуре сточных вод в 15°Ц и воздуха в 10°Ц .

Тип камеры гниения.	Объем камеры гниения в литр. на челов.
Двухъярусные камеры гниения	30
Отдельные камеры гниения глубокие, необогреваемые	50
Отдельные камеры гниения обогреваемые.	30
Комбинация двух-ярусных камер гниения и обогреваемых отдельных камер последующего гниения	20
Отдельные камеры гниения в виде земляных бассейнов, смотря по роду смешивания свежего осадка со старым	100—200

6. Prüss расчет камер гниения основывает на следующих соображениях.

Для камеры гниения определенного типа и при определенных температурных условиях уменьшение содержания воды в иле при выгнаивании совершается по определенному закону, выражаемому кривой зависимости содержания воды в иле от времени гниения,

На рис. 3 кривая I представляет уменьшение процентного содержания воды в иле, происходящее при гниении в камере Эмшерского колодца при температуре в 15°Ц ; первоначальное содержание воды в иле 95% . С ходом процесса гниения содержание воды в иле уменьшается так, что через $1\frac{1}{2}$ месяца ил содержит 85% воды, через 3 месяца— 80% воды, через 8 месяцев— 75% воды.

Пользуясь этой кривой, можно построить кривую уменьшения объема воды (кр. II), если знать в каждый момент времени содержание в иле сухого вещества. На том же рис. кривая II показывает уменьшение сухого вещества при начальном количестве, равном единице ($0,35$ минеральн. + $0,65$ органич.): через 3 месяца сухое вещество = $0,77$ ($0,35$ минеральн. + $0,42$ органич.) и через 8 мес. оно равно $0,70$ ($0,35$ мин. + $0,35$ орг.). Ординаты этой кривой отложены вниз от абсциссы.

Оперируя с тем же илом (95% воды), т. е. содержащим 1 часть сухого вещества и 19 частей воды, можно построить кривую III, принимая во внимание имеющееся в каждый момент времени количество сухого вещества (кривая II) и водное содержание в это время (кривая I).

Тогда расстояния между II и III кривыми дадут для каждого момента времени остающееся количество ила, которое будет иметься в наличии после уменьшения объема ила как за счет сокращения сухого вещества (кривая II), так и за счет понижения водного содержания (кривая I).

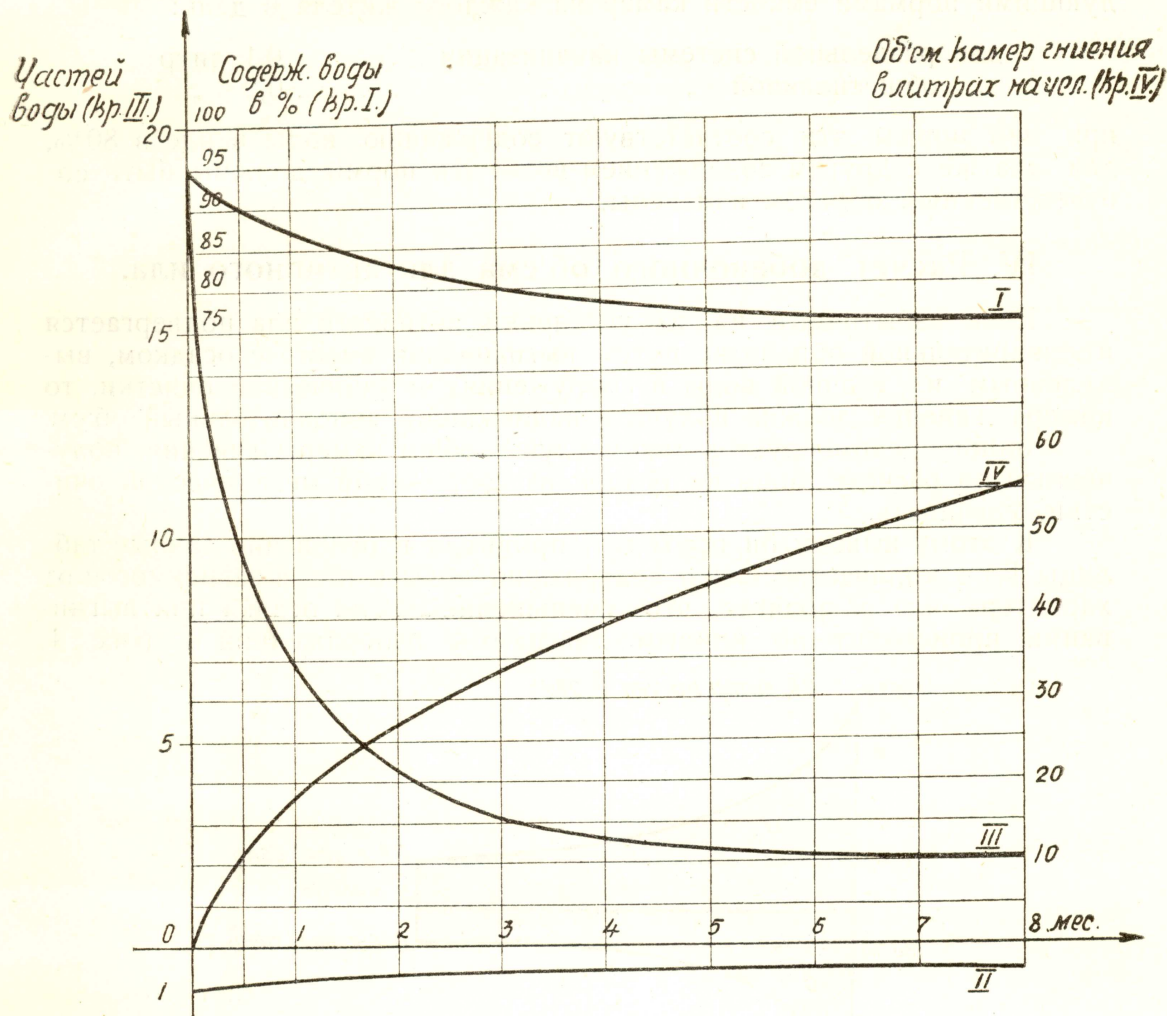


Рис. № 3.

Имея данные о количестве ила в каждый момент времени и учитывая ежедневное поступление свежего ила за весь рассматриваемый период, можно суммированием ежедневных ординат получить общее количество ила к любому дню и построить кривую объема камеры гниения. Кривая IV является подобной кривой, построенной при условии поступления свежего ила с 95% содержанием воды, для температуры камеры гниения в 15° Ц.; при этом кривая дает объем камеры гниения в литрах на жителя, принимая поступление в камеру свежего ила в количестве одного литра на человека в день.

Кривая IV показывает, что для достижения ила с 80% содержанием воды необходим объем камеры гниения в 34 литра на чел. и 85% содержанием воды — 23 литра на чел.

Повышение температуры до 25° Ц. сокращает объем камеры гниения, по Prüss'у, до 23 литр. на чел. при выгнившем иле с 80% воды.

Искусственное перемешивание при 15° понижает емкость камеры до 23 литр. на человека.

Одновременное искусственное перемешивание и повышение температуры до 25° сокращают размер камеры до 15 литров на жителя при том же содержании воды в 80% .

7. Frank и Fries рекомендуют для северо-американских условий пользоваться при расчете камер гниения двух-ярусных устройств следующими нормами емкости камер на каждого жителя в день:

для раздельной системы канализации 0,1 литр
 „ общесплавной „ „ 0,2 „

при чем нормы эти соответствуют содержанию воды в иле в 80% , для ила же с другим содержанием воды эти нормы должны быть соответственным образом изменены,

IV. Расчет добавочного объема для активного ила.

Если избыточный ил из установки активного ила подвергается предварительной обработке путем выгнаивания вместе с осадком, выделенным из сточной воды в сооружениях механической очистки, то камера гниения должна получить надлежащий дополнительный объем.

Imhoff рекомендует в таком случае объем камеры гниения, полученный по расчету лишь на осадок из сооружений механической очистки, удваивать.

К этому выводу он приходит, принимая в основание данные таблицы IV о количестве ила и содержании воды в нем в зависимости от характера ила и полагая, что уменьшение объема осадка при выгнивании происходит по кривым диаграммы, изображенной на рис. 4.

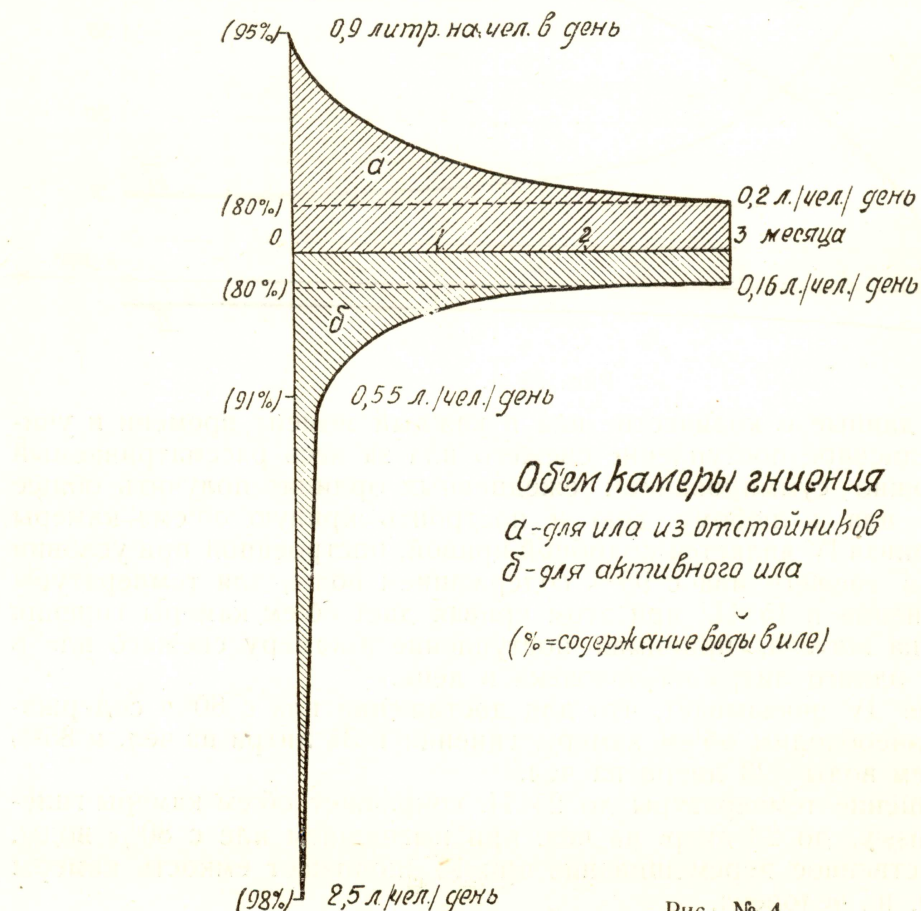


Рис. № 4.

Согласно этой диаграммы, объем камеры гниения, приходящейся на одного жителя, состоит из объема в 30 литр. на человека для ила из сооружений механической очистки и объема в 20 литр. на человека для активного ила, или в сумме равен 50 литр. на человека, т. е. почти удвоенному основному числу в 30 литр.

Таблица IV

количества ила и содержания в нем воды в зависимости от характера ила.

Х а р а к т е р и л а	Количество ила в литр. на чел. в день	Содержание воды в %
Свежий ил из сооружений механической очистки	0,9	95
Выгнивший ил из сооружений механической очистки	0,2	80
Избыточный активный ил	2,5	98
Выгнивший активный ил.	0,16	80
Выгнивший ил в общем	0,36	80

V. Данные о размерах существующих камер гниения.

В нижеследующей таблице приводятся данные относительно объема существующих камер гниения некоторых установок.

Таблица V.

Емкостей камер гниения некоторых установок.

Группа	НАЗВАНИЕ ГОРОДА	Род сооружений	Количество жителей	Средн. годов. температура сточных вод в град. Цельсия	Объем камеры гниения в литрах на человека
I	Steele.	Эмшерские колодцы	30.000	18	36
	Hattingen (Spar—und Bauverein).	„	2.000	16	36
	Welper	„	2.000	12	21
	Essen—Bredeney.	„	150	16	32
	Hagen.	„	70.000	11	37
	Iserlohn	„	17.000	13,5	64
	Witten	„	22.000	11	37
	Arnsberg	„	5.000	—	30
	Dahlhausen	„	7.000	—	53
	Kettwig	„	6.300	16	50

Группа.	НАЗВАНИЕ ГОРОДА.	Род сооружений.	Количество жителей.	Средн. годов. тем-пературы сточных вод в град. Цельсия	Объем камеры гниения в литрах на человека.
II	Langendreer	"	30.000	13	36
	Schenectady, N. Y.	"	65.000	13,5	39
	Plainfield, N. J.	"	40.000	7,5—21	42
	Fitchburg, Mass	"	38.000	—	53
	Rochester, N. Y.	"	260.000	12	67
	Trenton, N. J.	"	150.000	—	48
III	Esch (Люксембург).	Отд. кам. гн. Кре- мера	25.000	—	32
	Hildesheim	"	60.000	—	54
	Amberg	"	30.000	—	35
	Gerdauen	"	—	—	35
	Ohrdruf	"	—	—	25
	Preuss.—Holland	"	—	—	26
	Prenzlau.	"	—	—	24
IV	Brownswille, Texas	Отд. кам. гн. .	15.000	—	28
	Charlotte, N. C.	"	50.000	—	32
	Bartow, Fla.	"	4.000	—	56
	Hartford, Wis.	"	5.500	—	84
	Sheboygan, Wis.	"	5.000	—	84
	Kiel, Wis.	"	1.600	—	84
	Wheaton, Ill.	"	7.500	—	70
	Leetonia, Ohio	"	2.688	—	78
	Ridgewood, N. J.	"	20.000	—	56
	Vero, Fla	"	12.000	—	92
V	Baltimore	"	—	—	140
	Birmingham	"	—	—	267
	Lüdenscheid—Friedrichstal	"	16.000	12	400
VI	Essen—Rellinghausen.	Эшмерские колод- цы и установка актив. ила. В до- полн. к Эмш. ко- лодц. имеется отд. обогрев. камера гниения	45.000	—	В Эмш. кол. 22 В Отд. к. гн. 11

Подсчитывая средние емкости камер гниения по группам I, II, III и IV, представляющих собою последовательно Эмшерские колодцы в Германии (I), Эмшерские колодцы в Северной Америке (II), отдельные камеры гниения Кремера в Германии (и Люксембурге) (III) и отдельные камеры гниения в Северной Америке (IV) получим следующую таблицу (табл. VI).

Таблица VI.

Средних емкостей камер гниения для некоторых установок Германии (и Люксембурга) и Сев. Америки.

Группа	Тип камеры гниения и название страны	Средняя емкость камеры гниения в литрах на человека
I	Камеры гниения Эмшерских колодцев в Германии	39
II	Камеры гниения Эмшерских колодцев в Сев. Америке.	50
III	Отдельные камеры гниения системы Кремера в Германии (и Люксембурге)	33
IV	Отдельные камеры гниения в Сев. Америке	66

Из этой таблицы прежде всего явствует полное соответствие с приведенными выше соображениями относительно температурных влияний в том смысле, что камеры гниения установок Северной Америки имеют большие объемы, приходящиеся на каждого жителя, чем камеры гниения в Германии, а именно: для камер гниения Эмшерских колодцев 50 литр. против 39 литр. и для отдельных камер гниения 66 литров против 33 литр. Что касается разницы объемов между камерами гниения эмшерских колодцев и отдельными камерами гниения внутри каждой страны, т. е. находящихся примерно в одинаковых климатических условиях, то мы находим для установок Сев. Америки полное соответствие между высказанными выше соображениями, а именно: отдельные камеры гниения имеют объем больший, чем камеры гниения Эмшерских колодцев (66 против 50). Но для установок германских мы наблюдаем на первый взгляд очень странное явление: камеры гниения Эмшерских колодцев обладают большим объемом, чем отдельные камеры гниения (39 против 33), в то время, когда, согласно изложенному выше, отдельные камеры должны были бы обладать большим объемом. Это кажущееся противоречие объясняется следующими высокими качествами установок с отдельными камерами гниения системы Кремера, оказывающими благоприятное влияние на объем камер гниения: 1) очень низким процентом содержания воды в свежем иле (81,5—88%, как указывалось выше), 2) изоляцией установки земляной обсыпкой от влияния низких температур воздуха, 3) разделением камеры гниения на два отделения: предварительного и последующего выгнивания,

Конечно, при поступлении в отдельные камеры гниения ила с большим содержанием воды (что и наблюдается при других методах осветления воды), да еще при отсутствии изоляции отдельные камеры гниения, не обогреваемые теплотой сточных вод, будут иметь большие размеры, чем камеры гниения Эмшерских колодцев и отдельные камеры гниения, обогреваемые сточными водами.

Показанные в таблице отдельные камеры гниения для гор. Baltimore, Birmingham, Lüdenscheld-Friedrichstal (гр. V) имеют чрезвычайно большой объем на жителя, что объясняется неудачными конструктивными особенностями. Например, отдельные камеры гниения в г. Baltimore представляют собою большие бассейны по 43 метра длиной, 31 м. шириной и 4 м. глубиной. Естественно, что при поступлении свежего ила с одной стороны камеры и выходе выгнившего с другой, не может быть и речи о перемешивании свежего ила со старым и о хорошей прививке свежему илу бактерий гниения, а это, как указано выше, очень сильно удлиняет время гниения и, конечно, требует соответственно большего объема камеры.

Внутри каждой группы объемы камеры гниения, приходящиеся на жителя, подвержены значительным колебаниям, обусловленным различием температурных условий сточных вод, характером их, условиями перемешивания осадка и т. п.

Суммарная емкость в 33 литра на человека для камер гниения гор. Essen-Rellinghausen (VI), принимающих также остаточный ил из установки активного ила, кажется слишком низкой по сравнению с данными, приведенными в гл. IV; однако это объясняется тем, что отдельная камера гниения этой установки имеет искусственное обогревание и наоборот емкость эта является даже преувеличенной в сравнении с данными таблицы III относительно комбинированных камер гниения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В общем, независимо от метода расчета при определении объема камеры гниения, необходимо иметь сведения о количестве свежего ила, задерживаемого в осадочных устройствах¹⁾, относя его или к единице объема сточной жидкости и ведя в дальнейшем расчет по расходу воды или к жителю и ведя расчет по количеству населения.

Если в городе имеется канализация, то к определению количества ила можно подойти опытным путем, при отсутствии канализации — путем аналогии, пользуясь данными, имеющимися для городов, находящихся с тем городом, для коего проектируется установка, в одинаковых условиях. Конечно значительно проще обстоит дело, если речь идет о проектировании камер гниения на существующей очистной установке: в этом случае количество задерживаемого осадочными устройствами канализационного ила может быть определено непосредственным измерением.

Очень важно затем составить представление о конечном объеме, который примет ил по выгниванию, и о том, как происходит это уменьшение объема. В этом смысле также могут быть использованы пути опытов и аналогии.

Наконец должно установить время выгнивания, которое необходимо для достижения конечной цели. Эта задача в наших климатических условиях приобретает особую важность вследствие низких зимних температур и продолжительности холодного времени, так как температура камер гниения при определении времени выгнивания играет решающую роль, а зависимость ее от температуры воздуха, в особенности для некоторых типов камер гниения, несомненна.

Если предполагается, что температура камеры гниения в течение некоторого времени будет настолько низкой, что процесс гниения при-

¹⁾ Или о количестве взвешенных веществ в сухом состоянии, заключающихся в сточной воде, проценте их задержания в сооружениях механической очистки и проценте влажности ила.

остановится, расчетное время гниения должно быть соответственным образом увеличено. Камеру гниения в этом случае желательно устраивать таких размеров, чтобы ил не нуждался в удалении из нее в течение холодной погоды¹⁾. Для сохранения наименьшего объема камеры гниения должно освобождать ранней весной, как только позволит состояние ила, оставляя необходимое количество для прививки; затем в летние месяцы ил выпускать периодически; а осенью выгрузить снова весь ил, оставив лишь порцию, потребную для зарядки.

В наших условиях таким образом, должны привлечь особое внимание меры тепловой изоляции (в частности, также и от влияния холодных грунтовых вод) и меры искусственного обогрева; при чем для осуществления последних должно учесть возможность использования в качестве топлива собственный газ, добываемый из камер гниения²⁾.

Изложенные выше методы расчета предусматривают определение такового объема камеры гниения, который является достаточным для выгнивания ила, но при том условии, что камера гниения является уже созревшей. Конечно этого объема недостаточно, если объем камеры должен обеспечить и весь период „вработывания“, но в то же время, само собою разумеется, придавать камере слишком большой объем, который требуется только для пуска ее в работу, было бы нецелесообразно. Поэтому ограничиваются обыкновенно объемом, необходимым для зрелых камер, для сокращения же времени созревания камер прибегают или к „зарядке“ их перед пуском в работу хорошим щелочным илом или к добавлению в содержимое камеры гниения извести с надлежащим ее перемешиванием.

ИСТОЧНИКИ:

- H. Bach — Die Abwasserreinigung.
 Imhoff.—Der Einfluss der Temperatur auf die nötige Grösse der Schlammfaulräume.
 Imhoff.—Der Ruhrverband.
 Imhoff.—Taschenbuch der Stadtentwässerung.
 Hugo Knauer.—Kanalisation.
 Kusch.—Zweistöckige Absitzbecken oder getrennte Schlammfaulbehälter?
 Prüss.—Anleitung zur Berechnung von Schlammfaulräumen.
 F. Sierp.—Über den Einfluss der Temperatur auf die Zersetzungs Vorgänge in den Schlammfaulräumen.
 Babbitt.—Sewerage and Sewage Treatment.
 Материалы заграничной командировки автора летом 1927 г.

¹⁾ Если же ил по своему состоянию может быть выпущен зимой, то холодное время года не может служить к этому препятствием; следует только выпускать выгнивший ил зимой не на сушильные площадки, а в особые зимние иловые пруды.

²⁾ См. статью автора: „Добывание газа из осадка сточных вод“, помещенную в т. 49, вып. 2—3, 1928, „Известий СТИ“.