

УДК 621.6: 631.849

**О КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ГИДРОТРАНСПОРТЕ
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ**

П.Ф. Тиво, доктор сельскохозяйственных наук

Л.А. Саскевич, старший научный сотрудник
(Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси)

В настоящее время навозные стоки используются преимущественно для удобрения кормовых культур, особенно многолетних злаковых трав. Вносятся они на поля дождевальными машинами или цистернами-разбрасывателями. Имеет место и комбинированная система, включающая оба способа.

Из-за высоких энергозатрат мобильный транспорт применяется для вывозки жидких органических удобрений, как правило, лишь на фермах и комплексах небольшой мощности. На крупных животноводческих предприятиях промышленного типа жидкая фракция стоков утилизируется на сельскохозяйственных полях орошения (ЗПО). В этом случае для перекачки используется высокопроизводительный гидротранспорт, состоящий из насосного оборудования и напорных трубопроводов. Однако в настоящее время он находится в плачевном состоянии. К примеру, только в Брестской области десятки километров напорных трубопроводов нуждаются в замене. Не лучше положение с ними в ряде хозяйств других областей, имеющих свинокомплексы. Прежде всего вышел из строя гидротранспорт, представленный железобетонными трубами со стальным сердечником типа РТНС: они оказались ненадежными в агрессивной среде. На эту особенность мы в свое время обратили внимание [1]. Не меньшую опасность представляют и кристаллические отложения, или так называемая инкрустация солей внутри трубопроводов. Плотные солевые слои отлагаются также в дождевальной технике, соприкасающейся с животноводческими стоками. Инкрустация солей на животноводческих комплексах имеет место не только в нашей республике, но и за рубежом, где с подобной проблемой столкнулись еще раньше [2].



**Кристаллические отложения
в трубопроводе**

Кристаллические отложения, образующиеся на внутренней поверхности трубопроводов, имеют очень прочное сцепление. Попытка их удаления вручную с помощью зубила и молотка нередко заканчивается механическим повреждением оборудования, после чего оно становится непригодным для дальнейшего использования. Еще

сложнее ситуация с напорными трубопроводами. Соли, выпадающие на стенках труб, уменьшают их диаметр, увеличивают сопротивление движению жидкости, что в конечном итоге снижает производительность гидротранспорта навозных стоков и даже иногда делает невозможным его эксплуатацию. При этом наблюдаются разрывы трубопроводов, что приводит к загрязнению почвы и грунтовых вод животноводческими стоками со всеми вытекающими отрицательными последствиями. Инкрустация отличается высокой интенсивностью: за год она прирастает на 0,3 – 0,8 см и более. Особенно активен этот процесс на фасонных деталях, задвижках, крыльчатках насосов и т. д.

Образование отложений обусловлено кристаллизацией мало-растворимых соединений, находящихся в навозных стоках. Значительную роль здесь играет реакция среды. С повышением pH этот процесс активизируется. Даже в природных водах при изменении pH от 7 до 8,3 происходит превращение растворимого бикарбоната кальция в плохо растворимый карбонат. В животноводческих же стоках в результате подготовки их к поливу (разделение на твердую и жидкую фракции) удаляется CO₂, что способствует повышению pH. Его величина нередко превышает 7,5 единиц (табл.1).

**Таблица 1. Химический состав стоков свиного комплекса
УКСП «Боровица», мг/л**

Место отбора	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
Дуговые сита	7,02	727	389	228	80,2	1266	28,6	2904	576
Вертикальный отстойник	6,60	526	254	268	85,1	896	20,7	2342	707
Карантинная емкость	7,53	506	235	148	48,6	1161	22,4	2000	326
РОС-1	8,06	450	194	48,1	7,3	230	33,4	1159	76,4
РОС-2	7,83	456	194	68,1	26,7	566	13,3	1989	130

Примечание. РОС — резервуар осветленных стоков.

Оказывают влияние также механические колебания и турбулентность в транспортируемом потоке, возникновение которых обусловлено состоянием внутренней поверхности трубопроводов, наличием сопротивлений в коленах и отводах. Это наряду с высоким рН способствует образованию фосфорно-кислых солей магния и аммония. Как известно, более гладкую поверхность имеют пластмассовые трубопроводы, что исключает инкрустацию солей. Если она шероховатая, то образование кристаллических отложений, наоборот, ускоряется. Между тем, во время уборки животноводческих помещений нередко в навозные стоки попадает песок, служащий своего рода абразивным материалом для внутренних поверхностей металлических труб.

На процесс солеобразования также влияют наложение электрического и магнитных полей, радиоактивное облучение раствора [3]. Да и сама электропроводность различных почв далеко не одинакова и возрастает по мере повышения температуры и влажности грунтов [4]. Не исключено, что это имеет определенное значение для развития инкрустации. Отражаются на ее интенсивности и другие природные факторы. Наиболее активно этот процесс протекает на свиных комплексах Гомельской и Брестской областей. По-видимому, здесь имеет значение гидрохимический состав природных вод. В частности, вблизи свиного комплекса

«Сож» Гомельского района протекает река Немыльня. Уже само ее название косвенно свидетельствует о повышенной жесткости воды из-за наличия в минеральных породах карбонатов кальция и магния. Последнее подтверждается значительным содержанием этих элементов и высокой величиной рН в грунтовых водах на глубине 10 м у насосной станции, находящейся в зоне действия названного свиного комплекса.

Что касается «Боровицы», то там концентрация кальция и магния в стоках, особенно в осветленных, не столь значительная, что в определенной степени связано с выпадением карбонатов в осадок. Тем более что в отличие от свиного комплекса «Сож» здесь перед резервуаром осветленных стоков (РОС) созданы дополнительные сооружения (бетонные отстойники), которые существенным образом влияют на химический состав жидких органических удобрений. Особенно это выражено в ближайшем от «Боровицы» РОС-1, где стоки выдерживались длительный период и не использовались для полива в течение двух лет. Обращает на себя внимание тот факт, что гидротранспорт на комплексе крупного рогатого скота фактически не имеет минеральных отложений. Это обусловлено особенностями состава экскрементов отдельных видов животных. Жидкий навоз крупного рогатого скота отличается от экскрементов свиней повышенным содержанием коллоидных частиц и более низким – фосфора. Кроме того, намного медленнее расслаивается при хранении, чем свиной. Скорость седиментации особенно возрастает при увеличении содержания воды в бесподстилочном навозе. Следовательно, стоки свиного комплекса, где воды содержится свыше 98 %, наиболее подвержены этому процессу, что особенно наблюдается при пониженной скорости (менее 1 м/с) их перекачки гидротранспортом. В целом по республике из-за инкрустации и по другим причинам требуется ремонт и восстановление оборудования на площади ЗПО свыше 12 тыс. га.

Менее выражена эта проблема в хозяйствах, имеющих убойный цех, сточные воды которого сбрасываются на очистные сооружения свиного комплекса. Благодаря этому внутренняя поверх-

ность трубопроводов как бы «смазывается» частицами жира и делается скользкой, что несколько ослабляет интенсивность инкрустации. Такая технология внедрена в РУСП «Беловежский» Каменецкого района.

Определения показали, что такие отложения представлены преимущественно магний-аммоний-фосфатом ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$), или минералом струвитом, на долю которого приходится свыше 80% их массы. Наличие магний-аммоний-фосфата в минеральных отложениях доказано рентгенографическими исследованиями. В меньших количествах могут присутствовать в отложениях оксиды железа, кальция и другие соединения. Следовательно, в инкрустации солей основную роль играет фосфор, который в жидком свином навозе находится преимущественно в виде струвита [5]. Поэтому в ряде стран Запада данному элементу уделяется исключительное внимание. В частности, там вводят в рацион свиней фермент фитазу. В итоге содержание фосфора в экскрементах животных заметно снижается [6].

По-видимому, и на наших подобных предприятиях целесообразно использовать такой прием. Тем более, что перерасход кормов на свинокомплексах Беларуси весьма значительный. Последнее, в свою очередь, способствует избыточному поступлению фосфора и азота в экскременты животных. Очевидно, это и является одной из причин усиления в последние годы отложений солей на металлическом оборудовании в зоне действия свинокомплексов. В немалой степени сказывается здесь и нарушение поливного режима на земледельческих полях орошения. В большинстве случаев там не проводится промывка трубопроводов чистой водой после прокачки навозных стоков. В результате усиливается инкрустация солей и ухудшается качество урожая из-за отсутствия смыва стоков с поверхности растений.

Российскими учеными предложен способ [7] очистки стоков свинокомплексов, позволяющий исключить процессы образования твердых отложений в трубах и арматуре, который заключается в подщелачивании стоков с целью осаждения фосфатов. Подщелачивание производят культивированными микроорганизмами, а нейтрализация сточных вод осуществляется на стадии отдувки

аммиака. Однако данный способ отработывался применительно только к небольшим деталям оборудования и на стоках, прошедших двухступенчатую биологическую очистку в аэротенках, которая используется лишь в совхозе-комбинате «Борисовский». Здесь нет проблем с инкрустацией солей, поскольку стоки перекачиваются в основном по пластмассовым трубопроводам. Такой прием находится пока на стадии научного эксперимента и не нашел практического применения даже в России. Но в отдельных проектах предусматривается очистка стоков от аммония и фосфатов с помощью химических методов, а не биологических [8].

В нашей республике технология удаления кристаллических отложений все еще не разработана. В этой связи нами проведена серия экспериментов по растворению отложений с помощью сильных (HNO_3 , HCl , H_2SO_4) и слабых (CH_3COOH) кислот различных концентраций, а также сильных щелочей (NaOH , KOH), водного раствора аммиака и кальцинированной соды. При этом в вариантах исследований изменялись соотношение отложений и растворителя, температура раствора. Кроме того, изучалась зависимость растворимости от состояния кристаллических отложений: измельченных в порошок и без измельчения. В данном случае при соотношении растворимое вещество – реагент 1:5, и особенно 1:20, соль хорошо растворяется в 5 %-ных сильных кислотах. Этот процесс несколько ослабевает в ряду $\text{HCl} \geq \text{HNO}_3 > \text{H}_2\text{SO}_4$. Отмечено также, что время растворения уменьшается с ростом концентрации кислот и в результате подогрева. Облегчается удаление более рыхлых отложений с помощью сильных щелочей, особенно при предварительном подогреве трубопровода паром, что и имело место на свинокомплексе УКСП «Боровица» Ивановского района.

Нами проводились также исследования с ненарушенными кристаллическими отложениями (без предварительного измельчения) при прочих равных условиях (табл. 2). Установлено, что в данном случае время протекания реакции замедлялось в десятки раз, хотя нагревание и увеличение объема растворителя так же, как и в предыдущих опытах, ускоряли процесс растворения. В усло-

виях производства после суточного взаимодействия кислот с кристаллическими отложениями необходимо производить замену их раствора, при условии, если рН окажется более 3,0. Кроме того, по возможности, надо применять нагретый пар для ускорения растворения путем повышения температуры внутри трубопроводов, хотя бы расположенных вблизи комплекса. При этом наблюдается совместное действие двух способов очистки от кристаллических отложений: термического и химического, что существенно экономит расход реагентов. Для удаления минеральных отложений предпочтительна соляная кислота. Применение же для этой цели серной кислоты должно быть исключено. Нежелательно использовать здесь и азотную кислоту из-за ее агрессивного воздействия на металлические конструкции. Подкисления жидких органических удобрений опасаться не следует, поскольку не сопоставимы объемы стоков и добавляемых реагентов. Но если и произойдет незначительное снижение рН, то качество удобрений при этом не ухудшится.

Таблица 2. Растворимость кристаллических отложений в кислотах и щелочах

Примечание. Кальцинированная сода и аммиачная вода не растворяли кри-

Реагент	Соотношение соль : реагент	Концентрация растворителя, %		
		1 - 2	5-10	20 - 25
Время растворения, ч				
HNO ₃	1:5	Не растворяются	45	4 - 2
	1:20		24	1,5 - 1
HCl	1:5		24	4 - 2
	1:20		12	1,5 - 1
CH ₃ COOH	1:20		Частично растворяются	
HCl : HNO ₃ (1:1)	1:5		24-12	3 - 2
	1:20			2-1,5
NaOH (KOH)	1:5		Ч.р.	Ч.р.

сталлические отложения.

При подкислении стоков уменьшаются непроизводительные потери аммиака вследствие улетучивания его в атмосферу [9].

Таким образом, инкрустация солей на металлическом оборудовании осложнила и без того непростую ситуацию с утилизацией стоков свинокомплексов в южных регионах республики. Наиболее действенным приемом по удалению кристаллических отложений с внутренней поверхности трубопроводов пока остается использование соляной кислоты 5 %-ной концентрации. С целью экономного ее использования необходим предварительный прогрев трубопроводов. Для предотвращения коррозии очищаемого оборудования в раствор кислоты рекомендуется добавлять ингибитор, строго соблюдая технику безопасности. Кроме того, завершать перекачку стоков надо промывкой трубопроводов чистой водой. Нуждается в совершенствовании и гидротранспорт за счет замены металлических изделий на пластмассовые.

Литература

1. Тиво П.Ф., Саскевич Л.А. Нитраты: слухи и реальность – Мн.: Ураджай, 1990. –151с.
2. Подготовка и использование бесподстилочного навоза. Пер. с нем. – М.: Колос, 1982. – 76 с.
3. Саратовкин Д.Д., Куликов В.А. О кристаллизации на поверхности пересыщенного раствора под действием электрического поля // Известия вузов СССР. Физика – 1958. – № 4 – С.123-125.
4. Федотов Г.Н., Жуков Д.В., Неклюдов А.Д. Органоминеральный гель и электропроводность почв // Экологические системы и приборы. – 2003. – №11. – С. 36 – 42.
5. Bril I., Salomons W. Chemical composition of animal manure: a modelling approach / Netherlands Journal of Agricultural Science. – 1990. – 38, № 3A. – С. 333-351.
6. Лолор Р. Корм для свиней и защита окружающей среды // Сельскохозяйственный вестник. – 2002. – № 2. – С. 15.
7. Патент № 2067967. Способ очистки сточных вод животноводческих комплексов / Т.Г. Амбросова, А.В. Санников, Н.И. Булатов и др. // Открытия. Изобретения. – 1996. – №29.
8. Стыхин В. Очистные сооружения в «Надеево» // Животноводство России. – 2003. – №10. – С. 46-47.

9. Рехтман Н.М. III Международная конференция по свиноводству в ГП «Омский бекон» // Сельскохозяйственный вестник. – 2004. – № 4. – С. 5-7.

Резюме

Рассматриваются основные причины инкрустации солей на внутренней поверхности напорных трубопроводов при перекачке навозных стоков свиноподкомплексов, преимущественно в Полесье. Последнее обусловлено повышенным содержанием в экскрементах свиней фосфора и других соединений, что приводит к образованию кристаллических отложений в виде магний-аммоний фосфата ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$). Сказываются здесь особенности химизма вод, применяемых для гидросмыва бесподстильного навоза, а также состояние внутренней поверхности трубопроводов. Для удаления отложений предлагается использовать слабый раствор соляной кислоты. Кроме того, при устройстве гидротранспорта стоков следует отдавать предпочтение не металлическим, а пластмассовым трубопроводам.

Ключевые слова: животноводческие стоки, химический состав, инкрустация солей, минерал струвит, кислоты, кальцинированная сода.

Summary

Tivo P., Saskevich L. On crystalline deposits during hydraulic transport of livestock wastes.

The basic causes of salt incrustation on internal surfaces of pressure pipelines during pumping livestock wastes of industrial pig-production farms, situated mainly in Polesie, are considered. The incrustation is caused by the heightened content of phosphorus and other compounds in pig excrements, that results in formation of crystalline deposits in the form of magnesium-ammonium phosphate ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$). This is a result of features of chemism of waters used for washing a litterless manure, and also condition of internal surfaces of pipelines. Weak solution of hydrochloric acid is offered to dispose deposits. Besides, at the hydraulic transport system of wastes it is necessary to prefer not metal, but plastic pipelines.

Key words: livestock wastes, chemical composition, salt incrustation, mineral of struvite, acids, soda ash.