

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ПВХ-МЕМБРАН В КОНСТРУКЦИЯХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

М. А. Загородникова¹, В. П. Ярцев¹, П. В. Монастырев²

*Кафедры: «Конструкции зданий и сооружений» (1); «Городское строительство
и автомобильные дороги» (2), ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
kzis@nnn.tstu.ru*

Ключевые слова: агрессивные среды; долговечность; кровельные мембраны; поливинилхлорид; химическая стойкость.

Аннотация: Представлены результаты исследования химической стойкости ПВХ-мембран Пластфоил® и Экстраруф® к веществам, содержащимся в отходах животноводческих комплексов промышленного типа. Дано описание натуральных испытаний для воссоздания реальных условий эксплуатации. Проведена оценка долговечности ПВХ-мембран с позиции термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердых тел, так как для поливинилхлорида хорошо проявляется температурно-временная зависимость прочности. Установлено, что вещества, содержащиеся в отходах животноводства, незначительно влияют на структуру поливинилхлорида и не способствуют химической деструкции материала.

Введение

В настоящее время актуальной проблемой современных животноводческих комплексов является потребность в хранении значительных объемов жидкого навоза, что способствует разработке различных вариантов навозоаккумуляторов, наиболее распространенными из которых считаются бетонные, металлические и пленочные. В последние годы в качестве альтернативы бетонным навозным хранилищам стали широко использоваться так называемые «лагуны», представляющие собой котлованы, выкопанные в земле, на стены и дно которых уложен полимерный гидроизоляционный материал – геомембрана.

Согласно рекомендациям по проектированию систем удаления и использования навоза [1, 2] к навозохранилищам предъявляются требования по прочности, долговечности, химической стойкости. Используемый для устройства пленочных навозохранилищ материал должен обладать достаточно высокими эксплуатационными характеристиками.

Проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований, направленных на изучение химической стойкости поливинилхлоридных (ПВХ) мембран Пластфоил® и Экстраруф® к веществам, содержащимся в отходах животноводческих комплексов промышленного типа. Химическая стойкость поливинилхлорида достаточно широко изучена. Установлено [3], что он не растворим в воде, устойчив к действию кислот, щелочей, спиртов, минеральных масел, набухает и растворяется в эфирах, кетонах, хлорированных и ароматических углеводородах,

обладает невысокой теплостойкостью, совмещается со многими пластификаторами, стоек к окислению и практически не горюч. Поливинилхлорид широко используют в химической промышленности для изоляции трубопроводов от воздействия хлора, соляной и серной кислот и других агрессивных сред, облицовки химических аппаратов, цистерн и резервуаров, а также для изготовления бачков, трубок, ванночек и других изделий, стойких к агрессивным средам, кислотоустойчивых фильтров и установок непрерывной нейтрализации и обезвреживания кислых, хромсодержащих и циансодержащих сточных вод. В ракетостроении поливинилхлоридные композиции применяют для защиты поверхностей, соприкасающихся с пероксидом водорода.

Приведенные примеры показывают, что поливинилхлорид – достаточно стойкий и долговечный материал. Однако под влиянием многочисленных химических, физических, механических и биохимических факторов в поливинилхлориде могут протекать реакции, приводящие к изменению окраски полимера, существенному ухудшению физико-механических, диэлектрических, оптических и других эксплуатационных свойств материалов на его основе [4]. Поэтому необходимо учитывать воздействие различных агрессивных факторов при прогнозировании долговечности и работоспособности строительных материалов на основе поливинилхлорида.

В целях установления характера влияния химических веществ, являющихся компонентами отходов животноводческих комплексов, на работоспособность материала проведен ряд лабораторных исследований физико-механических и теплофизических свойств различных видов ПВХ-мембран.

Для исследований взяты образцы семи видов ПВХ-мембран Пластфоил® и Экстраруф®, изготовленных методом экструзии и каландрования из суспензионного поливинилхлорида, соответствующего, с добавлением наполнителей и технологических добавок [5]. Данные ПВХ-мембраны представляют собой двухслойный полимерный гидроизоляционный материал с армированием или без него. Верхний слой, как правило, имеет контрастный цвет для идентификации повреждений в период монтажа. В таблице 1 представлены основные характери-

Таблица 1

**Основные характеристики ПВХ-мембран
Пластфоил® и Экстраруф®**

Номер мембраны	Наименование материала	Толщина, мм	Вид армирования	Применение для гидроизоляции
1	Пластфоил® U 1.5	1,5	Без армирования	Фундаменты зданий и сооружений, мосты, тоннели, паркинги, резервуары, кровля
2	Пластфоил® U 2.0	2		Кровля
3	Пластфоил® S NORD 1.5	1,5		
4	Пластфоил® F 1.5	1,2	Синтетическая сетка	Кровля с механическим креплением (балластных, инверсионных)
5	Пластфоил® F 1.2			Кровля производственных зданий, выставочных, складских, торговых комплексов
6	Экстраруф® F 1.2			
7	Экстраруф® F 1.5	1,5		

стики исследуемых материалов. Агрессивные воздействия представлены как неорганическими веществами, являющимися основными компонентами отходов животноводства, так и органическим сырьем.

В статье рассмотрены натурные испытания, где в качестве агрессивной среды использован свежий свиной навоз (как наиболее агрессивный по сравнению с отходами КРС), разведенный в воде, в пропорции 1:2. Листы ПВХ-мембран разрезали на квадраты 20×20 см, пронумеровывали, помещали в раствор и выдерживали заданное время (15, 30, 45 и 60 суток) при средней температуре 5...10 °С. Затем листы доставали, промывали в чистой воде, после чего разрезали на полосы заданных размеров.

Для кратковременных и длительных испытаний прочности ПВХ-мембран на срез материал разрезали на полосы шириной 20 мм и длиной 200 мм. Для исследования термического расширения изготавливали образцы прямоугольной формы с размерами 52×10 мм. Все образцы пронумерованы и подписаны в соответствии с табл. 1.

Влияние агрессивной среды на внутреннюю структуру ПВХ-мембран можно оценить по степени изменения цвета поверхности материала. Установлено, что после 60 суток выдерживания образцов в агрессивной среде наиболее сильные изменения цвета (от белого до коричнево-желтого) наблюдаются у неармированной мембраны № 3. У мембран № 4 – 7 заметно выцветание, потемнение и появление пятен. На мембранах № 1 и 2 видны следы и отпечатки, однако цветовые изменения не наблюдаются, что свидетельствует о надежности защитного слоя.

Изменение цвета образцов в процессе воздействия агрессивных сред обусловлено как поверхностными изменениями в материале (адгезионными процессами поверхностных слоев мембран), так и структурными изменениями (образованием углеродных связей, фотоокислительными и другими процессами). Данные процессы могут оказывать влияние на механические характеристики ПВХ-мембран, поэтому для оценки их химической стойкости необходимо определить характер влияния агрессивной среды на прочностные свойства материала.

Наиболее опасным видом напряженного состояния, приводящим к разрушению мембран, является срез. Поэтому прочность и долговечность материала рассчитывали по результатам проведенных кратковременных и длительных испытаний на срез на установке рычажного типа при постоянной температуре (15 ± 2) °С, после выдерживания образцов в агрессивной среде в течение 15, 30, 45 и 60 суток. За расчетное значение принимали среднее напряжение для пяти испытаний.

По экспериментальным данным построены зависимости кратковременной прочности на срез от времени замачивания образцов ПВХ-мембран в агрессивной среде (рис. 1). Для всех видов ПВХ-мембран наблюдается увеличение прочности

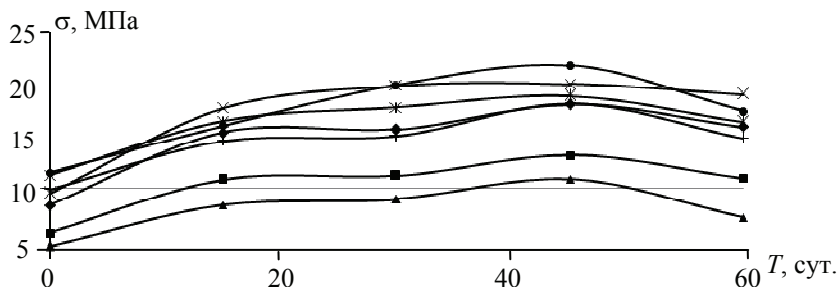


Рис. 1. Зависимость кратковременной прочности на срез от длительности замачивания ПВХ-мембран при натурных испытаниях:

- ◆ – Пластфоил® U 1.5; ■ – Пластфоил® U 2.0; ▲ – Пластфоил® S NORD 1.5;
- × – Пластфоил® F 1.5; * – Пластфоил® F 1.2; ● – Экстраруф® F 1.2;
- + – Экстраруф® F 1.5

материала при замачивании образцов до 45 суток, а затем небольшое снижение, в среднем на 10 – 15 %. Процесс упрочнения связан с повышением жесткости за счет ориентационных явлений в структуре полимера. Дальнейшее снижение прочности происходит в связи с началом деструктивных процессов. При этом значение прочности на 60-е сутки выше, чем первоначальное.

Изменения в структуре полимера, вызванные воздействием агрессивных сред, можно проследить на дилатометрических кривых. В связи с этим на оптическом дилатометре исследованы образцы ПВХ-мембран, не подверженные внешним воздействиям, а также после испытаний в агрессивной среде в течение 60 суток. Полученные зависимости представлены на рис. 2.

Для неармированных мембран Пластфоил® U 2.0 и Пластфоил® S NORD 1.5 воздействие агрессивной среды способствует увеличению термического расширения, причем структура материала Пластфоил® S NORD 1.5 выравнивается, о чем свидетельствует приближение дилатометрической кривой к линейной зависимости. Для образца Пластфоил® U 1.5 термическое расширение после воздействия агрессивной среды уменьшается, однако общий вид кривой (с перегибом при температуре 90 °С) остается аналогичным первоначальному. Для ПВХ-мембран Пластфоил® F 1.5, Пластфоил® F 1.2, Экстраруф® F 1.2, Экстраруф® F 1.5, армированных синтетическими сетками, также наблюдается выравнивание кривой до приближения к линейной зависимости. Однако линейному термическому расши-

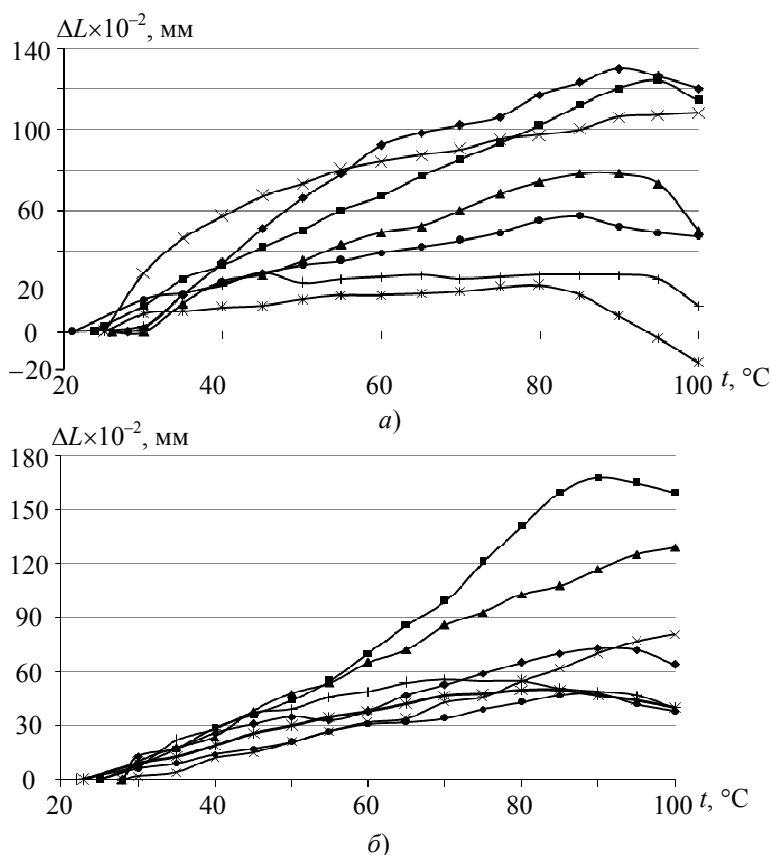


Рис. 2. Дилатометрические кривые образцов ПВХ-мембран:

a – без внешних воздействий; *б* – после 60 суток в агрессивной среде;

- ◆ – Пластфоил® U 1.5; ■ – Пластфоил® U 2.0; ▲ – Пластфоил® S NORD 1.5;
- × – Пластфоил® F 1.5; * – Пластфоил® F 1.2; ● – Экстраруф® F 1.2;
- +— – Экстраруф® F 1.5

рению поливинилхлорида у армированных мембран препятствуют армирующие волокна. Средние значения коэффициентов линейного термического расширения для исследуемых образцов приведены в табл. 2.

Под влиянием агрессивных воздействий значительных изменений в структуре материала не происходит, что подтверждает высокую химическую стойкость ПВХ-мембран к веществам, содержащимся в отходах животноводческих комплексов промышленного типа. Прогнозирование долговечности материалов на основе поливинилхлорида целесообразно проводить с позиции термофлуктуационной концепции разрушения и деформирования твердого тела [5, 6]. Для поливинилхлорида хорошо проявляется температурно-временная зависимость прочности, что подтверждается ранее полученными результатами [7 – 9]. Данный подход к прогнозированию долговечности дает возможность рассчитать срок службы ПВХ-мембран с учетом всех влияющих факторов.

В таблице 3 приведены физические константы, рассчитанные графоаналитическим способом для некоторых видов ПВХ-мембран, исследованных ранее на долговечность без учета влияния различных факторов внешней среды.

В таблице 4 представлены значения долговечности ПВХ-мембран при различных значениях напряжения и температуры [8]. При идеальных условиях без воздействия различных факторов внешней среды материал может служить довольно долго. Однако в реальных условиях эксплуатации на долговечность существенно влияют различные агрессивные факторы.

Для оценки долговечности ПВХ-мембран проведены длительные испытания образцов, не подверженных внешним воздействиям, а также после выдерживания в агрессивной среде в течение 60 суток. Полученные зависимости долговечности от напряжения при срезе представлены на рис. 3. Для всех исследуемых видов ПВХ-мембран воздействие агрессивной среды в течение времени проведения натурных испытаний (60 суток) не приводит к снижению прочности и долговечно-

Таблица 2

Коэффициенты линейного термического расширения ПВХ-мембран, подверженных воздействию агрессивной среды в течение 60 суток

Номер мембраны	Наименование ПВХ-мембраны	$\alpha_{\text{ср}} \times 10^{-4}, 1/^\circ\text{C}$	
		без воздействий	натурные испытания
1	Пластфоил [®] U 1.5	3,10	2,10
2	Пластфоил [®] U 2.0	2,90	2,90
3	Пластфоил [®] S NORD 1.5	1,40	3,20
4	Пластфоил [®] F 1.5	2,80	1,20
5	Пластфоил [®] F 1.2	0,42	0,52
6	Экстраруф [®] F 1.2	1,20	1,30
7	Экстраруф [®] F 1.5	0,32	0,34

Таблица 3

Значения физических констант для ПВХ-мембран

Вид материала	T_m, K	$\tau_T / \tau^*, \text{c}$	$U_0 / U, \text{кДж/моль}$	$\gamma / \beta, \text{кДж/моль} \cdot \text{МПа}$
Экстраруф [®] F 1.5	425,5	$1,55 \cdot 10^{-4} / -$	248,3 / -	13,05 / -
Пластфоил [®] U 2.0	-	$-2,09 \cdot 10^{-6}$	- / 57,9	- / 0,392
Пластфоил [®] F 1.2	574,7	$8,13 \cdot 10^{-7} / -$	171,9 / -	6,387 / -

Таблица 4

Значения долговечности τ (лет) при заданных значениях напряжения и температуры для ПВХ-мембран

Вид материала	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma, \text{МПа}$		
		0	18	50
Экстраруф® F 1.5	0,0	527	42,7	3,6
	0,5	374	29,6	2,1
	2,0	123	9,30	0,7
Пластфоил® U 2.0	0,0	70,2	18,1	1,5
	0,5	48,6	11,9	0,9
	2,0	14,7	2,90	0,1
Пластфоил® F 1.2	0,0	298	32,9	2,3
	0,5	173	19,7	1,6
	2,0	89	3,50	0,5

сти материала. Для мембран Пластфоил® U 1.5 и Экстраруф® F 1.5 угол наклона прямой долговечности не изменяется или уменьшается незначительно, для остальных образцов наблюдается увеличение угла наклона прямой, что свидетельствует об увеличении долговечности для данных экспериментальных условий.

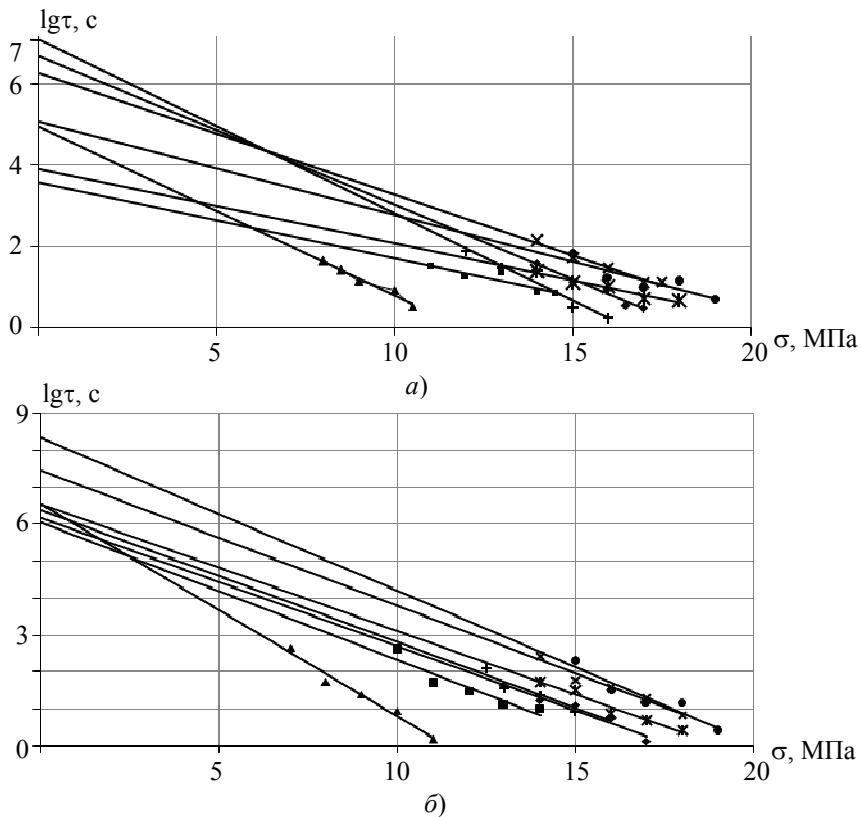


Рис. 3. Зависимость долговечности от напряжения при постоянной температуре для ПВХ-мембран:

a – без внешних воздействий; b – после 60 часов выдерживания в агрессивной среде;
 —●— Пластфоил® U 1.5; —■— Пластфоил® U 2.0; —▲— Пластфоил® S NORD 1.5;
 —×— Пластфоил® F 1.5; —*— Пластфоил® F 1.2; —●— Экстраруф® F 1.2;
 —+— Экстраруф® F 1.5

Коэффициенты для предварительной оценки долговечности ПВХ-мембран, подверженных воздействию агрессивной среды в течение 60 суток

№	Наименование ПВХ-мембраны	Без воздействий		Натурные испытания	
		$\Delta \lg A$	τ , лет	$\Delta \lg A$	τ , лет
1	Пластфоил® U 1.5	6,3...7,1	18...22	5,7...6,5	13...19
2	Пластфоил® U 2.0	3,1...3,9	5...8	5,6...6,4	12...19
3	Пластфоил® S NORD 1.5	4,9...5,4	7...10	6,1...6,9	16...20
4	Пластфоил® F 1.5	5,9...6,7	15...19	7,1...7,8	20...28
5	Пластфоил® F 1.2	3,7...4,5	6...10	6,2...6,8	16...20
6	Экстраруф® F 1.2	4,9...5,4	7...10	7,8...8,4	27...35

В таблице 5 представлены данные, позволяющие сделать предварительную оценку долговечности ПВХ-мембран после воздействия агрессивной среды в течение 60 суток. Величина интервала $\Delta \lg A$ определяется относительно $\lg t$ и характеризует срок службы материала для рассматриваемых эксплуатационных условий.

Необходимо провести ряд опытов при фиксированных повышенных температурах для получения наиболее точных результатов и дальнейшего вычисления физических констант, по которым возможно судить о влиянии агрессивных воздействий на долговечность.

Вывод

Полученные результаты показывают, что вещества, содержащиеся в отходах животноводства, незначительно влияют на структуру поливинилхлорида и не способствуют химической деструкции материала. Поливинилхлоридные мембраны Пластфоил® и Экстраруф® имеют достаточную химическую стойкость к веществам, содержащимся в отходах, и могут применяться на предприятиях животноводческого комплекса промышленного типа. Прогнозируемые сроки эксплуатации в зависимости от состава мембран составляют от 12 до 35 лет.

Список литературы

1. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета : РД-АПК 1.10.15.02-08 : утв. Минсельхоз РФ 29.04.2008 : введ. в действие от 01.10.2008. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 93 с.
2. Методические рекомендации по проектированию систем удаления и переработки навозных стоков на свиномкомплексах промышленного типа. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 84 с.
3. Поливинилхлорид / В. М. Ульянов [и др.]. – М. : Химия, 1992. – 288 с.
4. Мощанский, Н. А. Повышение стойкости строительных материалов и конструкций, работающих в условиях агрессивных сред / Н. А. Мощанский. – М. : Госстройиздат, 1962. – 235 с.
5. Ратнер, С. Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / С. Б. Ратнер, В. П. Ярцев. – М. : Химия, 1992. – 320 с.
6. Регель, В. Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский. – М. : Наука, 1974. – 560 с.
7. Загородникова, М. А. Влияние факторов старения на долговечность поливинилхлоридных материалов / М. А. Загородникова, В. П. Ярцев // Науч. вестн. Воронеж. гос. архитектурно-строит. университета. Сер. : Физико-хим. проблемы и высокие технологии строит. материаловедения. – 2015. – № 2. – С. 13 – 18.

8. Загородникова, М. А. Прогнозирование долговечности гидроизоляционных кровельных мембран на основе поливинилхлорида / М. А. Загородникова, В. П. Ярцев // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2015. – № 3. – С. 139 – 141.

9. Загородникова, М. А. Оценка долговечности кровельных мембран на основе поливинилхлорида без учета внешних атмосферных и климатических воздействий / М. А. Загородникова // *Сб. науч. статей молодых ученых, аспирантов и студентов. Проблемы техног. безопасности и устойчивого развития*. – Тамбов : ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – С. 188 – 191.

Evaluation of Durability and Chemical Resistance for PVC-Membranes Used in the Construction of Livestock Complexes

M. A. Zagorodnikova¹, V. P. Yartsev¹, P. V. Monastyrev²

Departments: “Construction of Buildings and Structures” (1); “Urban Construction and Highways” (2), TSTU, Tambov, Russia; kzis@nnn.tstu.ru

Keywords: aggressive influence; chemical resistance; durability; polyvinylchloride; roofing membranes.

Abstract: This paper presents the results of the study of chemical resistance for PVC-membranes Plastfoil[®] and Ekstraruf[®] to the substances contained in livestock waste. To replicate the actual operating conditions we carried out full-scale tests, where the corrosive effects of organic livestock waste were applied. The authors conducted a series of tests to determine physical, mechanical and thermal properties of PVC membranes. The durability evaluation of the PVC membranes was performed from the perspective of the thermofluctuational strength theory, because the temperature and time dependence of strength are well seen for the polyvinylchloride. It was proved that components of animal wastes have little effect on the PVC structure and do not contribute to the chemical destruction of the material.

References

1. Guidance document agribusiness, RD-APK 1.10.15.02-08. *Metodicheskie rekomendatsii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu sis-tem udaleniya i podgotovki k ispol'zovaniyu navoza i pometa* [Guidelines for the technological design removal systems and preparation for the use of manure and manure], Moscow: FGUN “Rosinformagrotekh”, 2008, 93 p. (In Russ.)

2. *Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu sistem udaleniya i pere-rabotki navoznykh stokov na svinokompleksakh promyshlennogo tipa* [Guidelines for designing removal systems and processing of manure on industrial-type pig farms], Moscow: FGUN “Rosinformagrotekh”, 2009, 84 p. (In Russ.)

3. Ulyanov V.M., Rybkin E.P., Gutkovich A.D., Pishin G.A. *Polivinilkhlорid* [Polyvinylchloride], Moscow: Khimiya, 1992, 288 p. (In Russ.)

4. Moshchanskii N.A. *Povyshenie stoikosti stroitel'nykh materialov i konstruksii, rabotayushchikh v usloviyakh agressivnykh sred* [Increased durability of building materials and construction, operating in aggressive environments], Moscow: Gosstroizdat, 1962, 235 p. (In Russ.)

5. Ratner S.B., Yartsev V.P. *Fizicheskaya mekhanika plastmass. Kak prognoziryuyut rabotosposobnost'?* [Physical plastic mechanics. How to predict the performance?], Moscow: Khimiya, 1992, 320 p. (In Russ.)

6. Regel' V.R., Slutsker A.I., Tomashevskii E.E. *Kineticheskaya priroda prochnosti tverdykh tel* [The kinetic nature of the strength of solids], Moscow: Nauka, 1974, 560 p. (In Russ.)

7. Zagorodnikova M.A., Yartsev V.P. [Influence of Ageing Factors on Polyvinylchloride Material Durability], *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-khimicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya* [Scientific Bulletin of Voronezh State Architecture and Construction University. Series: Physical and chemical problems and high technology of building materials], 2015, no. 2, pp. 13-18. (In Russ.)

8. Zagorodnikova M.A., Yartsev V.P. [Durability Prediction of Waterproofing Membrane Roof on a Polyvinylchloride Basis], *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction], 2015, no. 3, pp. 139-141. (In Russ.)

9. Zagorodnikova M.A. *Otsenka dolgovechnosti krovel'nykh membran na osnove polivinilkhlorida bez ucheta vneshnikh atmosferykh i klimaticheskikh vozdeystvii* [Assessment of the durability of roofing membranes based on polyvinyl chloride, without taking into account external atmospheric and climatic influences]. *Sbornik nauchnykh statei molodykh uchenykh, aspirantov i studentov, Tambov: FGBOU VPO "TSTU"*, 2015, pp. 188-191. (In Russ.)

Einschätzung der Haltbarkeit und der chemischen Standhaftigkeit der PVC-Membranen in den Konstruktionen der Viehzuchtkomplexe

Zusammenfassung: Es sind die Ergebnisse der Forschung der chemischen Standhaftigkeit der PVC-Membranen Plastfoil® and Ekstraruf® zu den in den Abfällen der Viehzucht Komplexe des industriellen Typs enthaltenden Stoffen dargelegt. Es ist die Beschreibung der Außentests für die Wiederherstellung der realen Bedingungen des Betriebes angegeben. Es ist die Einschätzung der Haltbarkeit der PVC-Membranen von der Position thermofluktuationalen Konzeptionen der Zerstörung und des Deformierens der festen Körper durchgeführt, da für das Polyvinylchlorid die temperaturzeitliche Abhängigkeit der Haltbarkeit gut gezeigt wird. Es ist festgelegt, dass die Stoffe, die in den Abfällen der Viehzucht enthalten sind, die Struktur des Polyvinylchlorides unbedeutend beeinflussen zur chemischen Destruktion des Materials nicht beitragen.

Évaluation de la durabilité et de la résistance chimique des membranes-PVC dans les constructions de complexes d'élevage

Résumé: Sont présentés les résultats de l'étude de la résistance chimique des membranes-PVC Plastfoil® et Ekstraruf® aux substances contenues dans les déchets des complexes du type industriel. Est donnée une description des essais de nature afin de recréer les conditions réelles d'utilisation. Est effectuée l'évaluation de la durabilité des membranes-PVC de la position de la conception de la destruction de fluctuation thermique et de la déformation des corps solides. Est constaté que les substances contenues dans les déchets de l'élevage influencent légèrement sur la structure de polychlorure de vinyle et ne contribuent pas à la destruction chimique de la matière.

Авторы: *Загородникова Мария Александровна* – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; *Ярцев Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений»; *Монастырев Павел Владиславович* – доктор технических наук, доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги», директор института архитектуры, строительства и транспорта, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Леденев Виктор Васильевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.