

АНАЛИЗ СОСТАВА ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ КОЖЕВЕННО-ОБУВНОГО ПРОИЗВОДСТВА И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИХ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ

**М.В. Дюбанов, О.В. Шаповалова, А.В. Рощин, Ю.А. Трегер,
А.А. Соловьянов**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук,
Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды**

Приведены результаты количественного анализа состава воздуха рабочей зоны при выполнении некоторых клеенамазочных и отделочных технологических операций на примере кожевенно-обувного производства. Предложена схема обезвреживания выбросов при получении мономера хлоропрена, щелочного созревания латекса и отгонки мономера из латекса. Проведен анализ процесса обезвреживания выбросов отходящих газов при производстве хлоропренового каучука. Представлены в табличном и графическом виде данные по составу отходящих газов при получении мономера хлоропрена, щелочного созревания латекса и отгонки незаполимеризовавшегося хлоропрена из латекса до и после абсорбции.

Ключевые слова: хлоропреновый клей, ацетон, обувное производство, хлоропреновый каучук, абсорбция, газообразные выбросы, утилизация, дегидрохлорирование, полимеризация, 3,4-дихлорбутен-1, азот, латекс

Analysis of the Emissions' Composition into the Atmosphere at the Enterprises of Leather and Footwear Production and the Development of Technical Solutions for their Decontamination

M.V. Dyubanov, O.V. Shapovalova, A.V. Roshchin, Yu.A. Treger, A.A. Solovyanov

**N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics Russian Academy of Sciences, 119991 Moscow, Russia,
All-Russian Research Institute of Environmental Protection, 117628 Moscow, Russia**

The results of the quantitative analysis of the air composition of the working area performing some gluing-and-finishing and while finishing technological operations are given on the example of leather and footwear production. A scheme for decontamination emissions while obtaining chloroprene monomer, alkaline maturation of latex and stripping of monomer from latex. The analysis of the decontamination process of exhaust gas emissions in the production of chloroprene rubber was carried out. Data on the exhaust gases composition at receipt of chloroprene monomer, alkaline maturation of latex and stripping of non-polymerized latex chloroprene before and after absorption are presented in tabular and graphical form.

Keywords: chloroprene glue, acetone, shoe production, chloroprene rubber, absorption, gaseous emissions, utilization, dehydrochlorination, polymerization, 3,4-dichlorobutene-1, nitrogen, latex

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-09-24-29

Научно-технический прогресс в легкой промышленности, связанный с интенсификацией процесса производства, предусматривает внедрение новых технологических принципов на базе использования химических веществ и материалов, ужесточения технологических режимов процессов. В этих условиях не только материальные аспекты, но и вопросы безопасности и улучшения условий труда работников легкой промышленности

приобретают важное социально-экономическое значение.

Работы, связанные с анализом экологической обстановки на предприятиях легкой промышленности на примере кожевенно-обувных заводов и на примере производства хлоропренового каучука, а также разработка технических решений, улучшающих эту обстановку, являются весьма актуальными.

Цель настоящей работы — проведение анализа экологиче-

ской обстановки на кожевенно-обувных предприятиях на примере производства хлоропренового каучука и разработка технических решений по ее улучшению.

Экологическая обстановка на кожевенно-обувных предприятиях на примере производства хлоропренового каучука

Наибольшая опасность загрязнения воздушной среды на предприятиях легкой промышленности связана с цехами химической

обработки материалов. Вредные вещества могут выделяться в атмосферу во время приготовления отбеливающих, красильных и аппретирующих растворов, а также при дальнейшем их использовании в различных технологических процессах, особенно связанных с нагреванием. Монооксид углерода выделяется при термической обработке полупродуктов на газопальных машинах. Хлорсодержащие соединения образуются на различных стадиях производства. При соединении хлора с водяным паром, находящимся в воздухе, образуются соляная и хлорноватистая кислоты, вызывающие [1] раздражение слизистой оболочки, кашель и удушье при концентрации в воздухе уже 0,001–0,006 мг/л. Аналогичным действием обладает двуокись хлора ClO_2 , выделяющаяся при белении хлоритом натрия целлюлозных и химических волокон.

При приготовлении концентрированных растворов гидроксида натрия (до 250 г/л), используемых в процессах щелочной обработки, образуются особо опасные взвешенные вещества и аэрозоли. Использование гидроксида аммония (NH_4OH) на стадии производства целевой продукции приводит к образованию аммиака, раздражающего слизистую оболочку глаз и дыхательных путей, а также кожу. Сероводород, относящийся к высокоопасным токсичным веществам [1], выделяется при нейтрализации и промывке готовой продукции, окрашенной сернистыми красителями.

Оксид азота NO выделяется в процессах диазотирования нафтоловых оснований на стадиях крашения. Среди органических соединений, используемых в технологиях легкой промышленности, основными загрязнителями атмосферного воздуха являются нафтолы, нитросоединения и амины ароматического ряда, применяемые при крашении нерастворимыми азокрасителями. При вдыхании паров или пыли этих соединений происходит поражение нервной системы, печени и почек. Использование формальдегида в процессах заключительной отделки готовой продукции, а также в период хранения ее на складах, приводит к выделению паров формальдегида в атмосфер-

Таблица 1. Результаты качественного анализа газообразных выбросов на основных стадиях кожевенно-обувного производства
Table 1. The results of a qualitative analysis of gaseous emissions at the main stages of leather and shoe production

Обрабатываемый или используемый материал	Компоненты газообразного выброса	
	Ожидаемые	Определенные в лабораторных условиях
Поливинилхлорид	Хлористый водород, оксид углерода, диоктилфталат, хлористый винил, диоктилсебацат, сульфат свинца, триэтиленгликоль, аммиак	Хлористый водород, монооксид углерода
Клей на основе латекса СКС-65 ГП	Дивинил, этилбензол, бензол, стирол, ксилол	Дивинил, этилбензол, бензол

ный воздух, прежде всего в воздух рабочих помещений. При концентрации формальдегида около 0,001 мг/л наблюдается раздражение глаз и верхних дыхательных путей. Увеличение концентрации до 0,025 мг/л может вызвать сильное раздражение слизистой оболочки [1].

При заключительной отделке в атмосферный воздух могут поступать частицы загрязняющих веществ, которые образуются за счет конденсации летучих органических соединений, что в свою очередь приводит к образованию аэрозолей с взвешенными частицами размером 0,1–0,2 мкм.

Наряду с разными химическими соединениями на различных стадиях производств в воздушную среду выделяется большое количество взвешенных частиц, которые образуются в результате воздействия технологического оборудова-

ния на обрабатываемый материал. Большое количество взвешенных частиц выделяется в подготовительном отделении, где сырье подвергается значительным механическим воздействиям.

Взвешенные частицы оказывают два специфических вида воздействия: токсическое (растворимая часть) и фиброгенное (нерастворимая часть). Растворимые компоненты очень быстро попадают в систему кровообращения, а нерастворимые — проникают в органы дыхания, вызывая их заболевания, например биссиноз, характеризующийся сильным кашлем и сдавливанием грудной клетки. Причиной биссиноза часто являются эндотоксины — липополисахариды.

Взвешенные частицы, содержащие соединения кремния (прежде всего силикаты), широко используемые на стадиях за-

Таблица 2. Качественный и количественный состав вредных выбросов обувного производства на Курской обувной фабрике
Table 2. Qualitative and quantitative composition of harmful emissions from shoe production at the Kursk shoe factory

Обрабатываемый или используемый материал	Состав материала		Состав отходящих газов	
	Компонент	Содержание, %	Вещество	Количество летучих, г/ч/кг
Наиритовый (хлоропреновый) клей	Хлоропреновый клей	20,0	Этилацетат	360,0
	Оксид Mg(II)	0,4	Бензин "Галоша"	299,0
	Оксид Zn(II)	3,0		
	Уротропин	0,5		
	Этилацетат	21,0		
	Бензин "Галоша"	33,2		
	Смола 101 K	1,7		
	Хлорное железо	20,2		
Клей "Десмоколл-400"	Каучук "Десмоколл-400"	18,2	Этилацетат	720,0
	Этилацетат	72,2	Ацетон	81,9
	Ацетон	9,6		
Термоэластопласт	Термоэластопласт	100,0	Стирол	0,03
			Дивинил	0,11
			Монооксид углерода	1,29

Таблица 3. Результаты количественного анализа воздуха рабочей зоны при выполнении некоторых клеенамазочных и отделочных технологических операций

Table 3. The results of a quantitative analysis of the air of the working area when performing some gluing and lubricating and finishing technological operations

Технологические операции	Используемые химические материалы	Выделяющиеся химические вещества	Концентрация, мг/м ³ , при выполнении операции		ПДК _{р.з.} , мг/м ³
			вручную	на машине	
Намазка клеем: подошв и каблучков	Клей из натурального каучука Наиритовый (хлоропреновый) клей	Бензин "Галоша"	431±32	183±16	100
		Изопрен	13±1	152±11	40
		Этилацетат	272±21	178±15	200
следа обуви, затяжной кромки, стельки	Наиритовый (хлоропреновый) клей	Бензин "Галоша"	245±18	149±8	100
		Бензин "Галоша"	200±11	–	100
затяжной кромки подошвы	Полиуретановый клей Десмаколл-400	Этилацетат	257±19	–	200
		Ацетон	190±11	–	200
Тонирование обуви	Краска для тонирования на основе нитроэмали "Экстра"	Бутилацетат	89±4	320±16	200
		Этанол	38±2	128±10	1000
Аппретирование обуви	Аппретурная вода щелочная	Этанол	23±2	92±5	1000
	Аппретура из щелочной композиции	–	47±2	174±9	1000

ключительной отделки продукции, могут вызывать силикоз.

Широкое использование полимерных материалов для деталей обуви — полиуретана, поливинилхлорида, термоэластопласта, синтетических кож и полимерных клеев — вызывает загрязнение воздуха различными химическими веществами, образующимися в результате испарения органиче-

ских растворителей, а не термической деструкции полимерных материалов. Кроме того, загрязнение воздушного пространства может происходить от взвешенных частиц, возникающих при механической обработке деталей обуви (шершевание, фрезерование и т.д.).

Стоит отметить, что согласно информационно-техническому

справочнику по наилучшим доступным технологиям "Дубление, крашение, выделка шкур и кожи", в настоящее время одним из перспективных направлений является усовершенствование способов переработки отходов кожевенного производства и внедрение новых технологий по повышению экологической безопасности производства [2].

В свою очередь, анализ используемых в настоящее время основных технологий производства обуви позволяет выявить наиболее характерные технологические операции, которые необходимо в дальнейшем оценивать с точки зрения вредного воздействия производственных факторов на организм человека, используя для этого как теоретическое обоснование, так и практическое подтверждение принятого предположения.

Для выявления характера и объема выбросов вредных веществ в окружающую среду от технологических процессов и оборудования были исследованы основные технологические процессы и операции по всем видам обуви:

- клеенамазочные операции (нанесение клея, содержащего органические растворители);
- операции затяжки обуви и загибки деталей верха с применением клеев-расплавов;
- процесс галогенирования;
- отделка обуви (аппретирование, полирование, шлифование верха окрашивание подошв);
- литые низа обуви из поливинилхлоридов (ПВХ), термоэластопластов (ТЭП), полиуретана (ПУ);
- литые и окрашивание каблучков.

В ходе работы проведен количественный и качественный анализ состава вредных выбросов при обработке отдельных видов материалов обувного производства в технологических условиях, полученные данные выборочно приведены в табл. 1 и 2.

На основании полученных данных были определены допустимые значения выделения загрязняющих веществ в окружающую среду от технологических процессов и оборудования обувных предприятий, которые можно использовать при проектиро-

Таблица 4. Состав газообразных выбросов стадии дегидрохлорирования, % по массе

Table 4. Composition of gaseous emissions of the dehydrochlorination stage, % by mass

Компоненты	Газовые выбросы из реактора дегидрохлорирования	3,4-ДХБ-1 в абсорбер	Абгазы на рассеивание	Поток в реактор дегидрохлорирования
Азот	38,82	0,00	90,07	0,00
Ацетальдегид	2,31	0,00	0,00	0,06
β-Хлоропрен	57,71	0,00	0,00	1,44
Хлороформ	0,26	0,33	0,37	0,33
α-Хлоропрен	0,39	0,00	0,00	0,01
Четыреххлористый углерод	0,13	0,28	0,25	0,28
Цис-1-Хлорбутен-2	0,00	0,06	0,02	0,06
Вода	0,39	0,00	0,00	0,01
3,4-Дихлорбутен-1	0,00	98,10	9,23	96,56
Транс-1,3-Дихлорбутен-2	0,00	1,18	0,06	1,16
Транс-1,4-Дихлорбутен-2	0,00	0,05	0,00	0,05
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00

вании новых и реконструкции действующих предприятий отрасли в целях выбора и расчета наиболее эффективных систем защиты окружающей среды в зависимости от технологических особенностей производства конкретной фабрики. Было установлено, что из обувных клеев в основном испаряется бензин и этилацетат, а также ацетон и бутилацетат. При работе с обувными красками в воздух выделяется этиловый спирт, а также бутилацетат и этилацетат. При технологических операциях аппретирования обуви в воздухе рабочей зоны присутствует в основном этиловый спирт, а также этилацетат и бутилацетат (аппретура на основе нитролака). Результаты анализа воздуха рабочей зоны при выполнении некоторых клеенамазочных и отделочных технологических операций приведены в табл. 3.

Из данных табл. 3 видно, что концентрации органических растворителей в воздухе рабочей зоны значительно превышают значения ПДК_{р.з.} при выполнении клеенамазочных технологических операций вручную.

Если клеенамазочная операция механизирована, то концентрации органических растворителей в воздухе рабочей зоны уменьшаются и для некоторых растворителей не превышают или находятся на уровне ПДК_{р.з.}.

Таким образом, проведенные анализы указывают на источники загрязнения воздуха в производстве обуви. Увеличение выпуска обуви приводит к увеличению концентрации паров растворителей. С целью снижения концентраций растворителей до ПДК_{р.з.} на обувных предприятиях применяют для вентиляции помещений 3–6-кратную циркуляцию воздуха. Однако в современных условиях выброс паров растворителей в атмосферу недопустим. Поэтому одной из задач, стоящих перед обувной промышленностью, является создание рекуперационных установок для улавливания бензина, ацетона, этилацетата, метилэтилкетона и др.

Стоит отметить, что в клеенамазочных операциях на обувном производстве широко используется хлоропреновый клей, сырьем для которого слу-

жит хлоропреновый каучук, при получении которого также стоит задача анализа газообразных выбросов.

Анализ состава газообразных выбросов на примере опытной установки по производству хлоропренового каучука

При организации опытного малотоннажного производства хлоропреновых каучуков на производственной площадке реализуются три стадии процесса: дегидрохлорирование 3,4-дихлорбу-

тена-1 с получением мономера хлоропрена, полимеризация в латексе получившегося мономера и получение хлоропренового каучука из латекса.

Абгазы образуются на пяти этапах по ходу процесса.

1. Газовые выбросы на стадии дегидрохлорирования — непрерывное образование в течение работы.

2. Газовые выбросы из реактора полимеризации — выброс газов после перекачивания полимера.

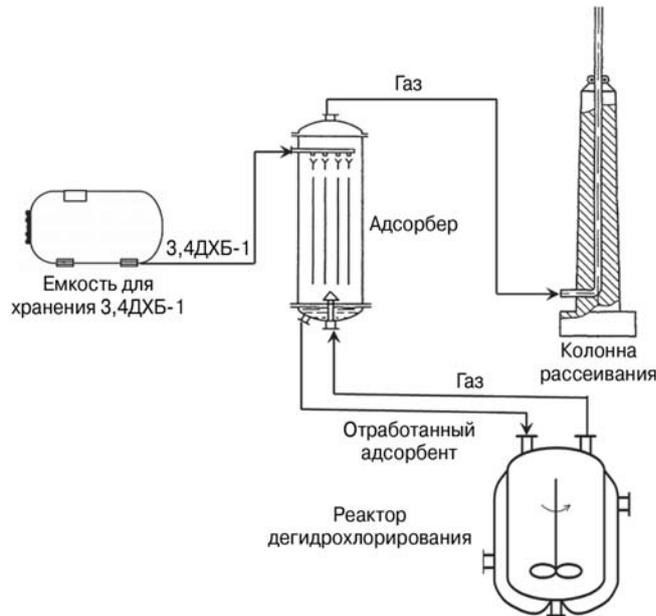


Рис. 1. Схема утилизации газообразных выбросов стадии дегидрохлорирования

Fig. 1. Scheme of disposal of gaseous emissions from the dehydrochlorination stage



Рис. 2. Содержание газообразных выбросов стадии дегидрохлорирования до и после абсорбции

Fig. 2. The content of gaseous emissions stage dehydrochlorination before and after absorption

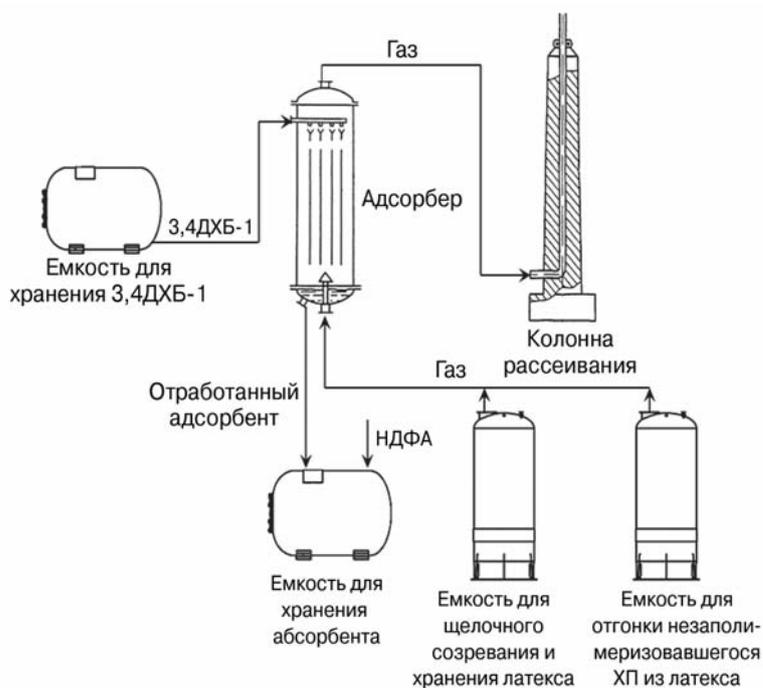


Рис. 3. Схема утилизации газообразных выбросов стадий щелочного созревания латекса и отгонки мономера из латекса

Fig. 3. Scheme of utilization of gaseous emissions of the stages of alkaline maturation of latex and distillation of the monomer from latex

3. Газовый выброс из емкости щелочного дозревания — выброс газов при вскрытии емкости.

4. Газовый выброс из сепаратора — в течение отгонки влаги (примерно 5–6 ч), прекращение процесса оценивается по содержанию влаги в латексе.

5. Газовый выброс из сушильных шкафов — в течение высушивания латекса (примерно 1–2 ч).

Выбросы 2 и 5 направляются напрямую на колонну рассеивания. Остальные направляются для абсорбции в абсорбер.

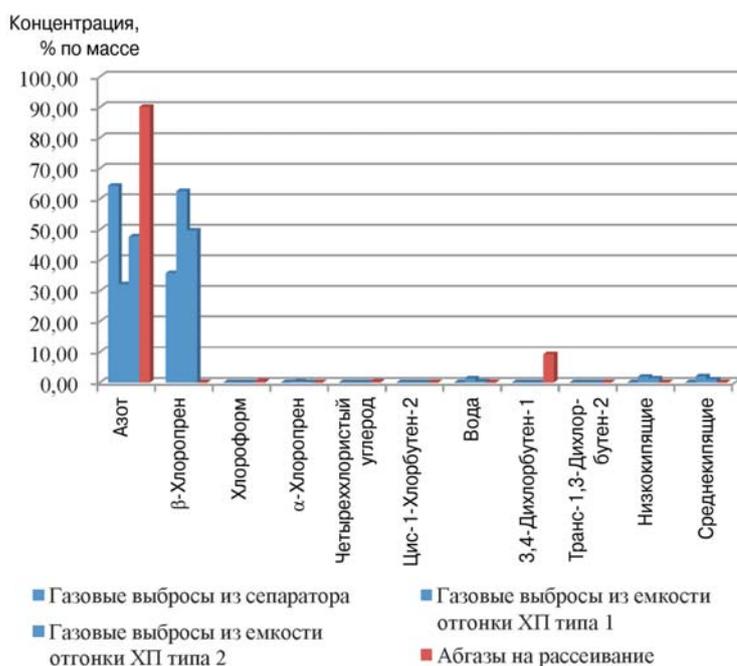


Рис. 4. Содержание газообразного выброса стадий щелочного созревания латекса и отгонки незаполимеризовавшегося ХП из латекса до и после абсорбции

Fig. 4. The content of the gaseous emission of the stages of alkaline maturation of latex and the distillation of unpolymerized CP from latex before and after absorption

Абсорбер работает в двух режимах.

Первый режим реализуется при работе стадии дегидрохлорирования (рис. 1). В этом режиме образовавшиеся абгазы (азот, ацетальдегид, β-хлоропрен, хлороформ, α-хлоропрен, четыреххлористый углерод,) поступают в насадочный абсорбер, орошаемый 3,4-дихлорбутеном-1. Выходной поток абсорбента из абсорбера самотеком направляется в реактор дегидрохлорирования. Выходящие газы (азот, хлороформ, четыреххлористый углерод, 3,4-дихлорбутен-1, транс-1,3-дихлорбутен-2) направляются на колонну рассеивания.

В табл. 4 представлен состав газообразных выбросов процесса дегидрохлорирования, свежего абсорбента из емкости хранения 3,4-дихлорбутена-1, газового потока, направляемого для дальнейшего рассеивания, и отработанного абсорбента, который поступает в реактор дегидрохлорирования в качестве сырья.

На рис. 2 представлена гистограмма состава газообразных выбросов процесса дегидрохлорирования до и после абсорбции 3,4-дихлорбутен-1. Видно, что содержание вредных компонентов, таких как ацетальдегид, β-хлоропрен, хлороформ, α-хлоропрен, четыреххлористый углерод после абсорбции снижается до значений ПДК_{р.з.}. Далее газовый поток направляется на колонну рассеивания.

Второй режим реализуется при работе стадии полимеризации: на этой стадии будет два выброса (рис. 3), которые направляются в абсорбер: газообразный выброс из емкости щелочного дозревания, (азот, β-хлоропрен, α-хлоропрен, вода, низкокипящие и среднекипящие компоненты) и газообразный выброс из сепаратора (азот, β-хлоропрен).

Абсорбент после абсорбера и конденсат из сепаратора направляются в емкость для хранения, где к ним добавляют НДФА для предотвращения возможности полимеризации.

В табл. 5 представлен состав газообразных выбросов стадий щелочного дозревания и отгонки незаполимеризовавшегося мономера при получении хлоропреновых (ХП) каучуков типа 1 и типа 2.

Таблица 5. Состав газообразных выбросов стадий щелочного созревания латекса и отгонки незаполимеризованного хлоропрена из латекса, % по массе**Table 5. The composition of the gaseous emissions of the stages of alkaline maturation of latex and distillation of unpolymers chloroprene from latex, % by weight**

Компоненты	Газовые выбросы			Абгазы на рас-сеивание	ХП + вода	Газовые выбросы после сушки ХП		Поток отработанного абсорбента в емкость для хранения
	из сепаратора	из емкости отгонки ХП				типа 1	типа 2	
		типа 1	типа 2					
Азот	64,29	32,09	47,70	90,07	0,00	0,00	0,00	0,00
β-Хлоропрен	35,71	62,46	49,63	0,00	17,65	0,33	0,27	6,09
Хлороформ	0,00	0,00	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,66
α-Хлоропрен	0,00	0,20	0,15	0,00	0,34	0,05	0,06	0,11
Четыреххлористый углерод	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,49
Цис-1-Хлорбутен-2	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,10
Вода	0,00	1,33	0,31	0,00	76,05	88,75	94,18	23,41
3,4-Дихлорбутен-1	0,00	0,00	0,00	9,23	0,00	0,00	0,00	67,32
Транс-1,3-Дихлорбутен-2	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,81
Транс-1,4-Дихлорбутен-2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Низкокипящие	0,00	1,88	1,28	0,00	1,34	0,05	0,03	0,00
Среднекипящие	0,00	2,05	0,92	0,00	1,16	0,05	0,06	0,00
Додецилмеркаптан	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,00
Толуол	0,00	0,00	0,00	0,00	3,19	10,76	2,40	0,98
Ломар РW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

По варианту 1 и 2 при работе стадии полимеризации и стадии щелочного дозревания (рис. 4) основными компонентами выброса являются: азот, β-хлоропрен, ацетальдегид, 3,4-дихлорбутен-1. Азот не токсичен для организма человека. β-хлоропрен с ПДК_{р.з.} = 2 мг/м³ оказывает наркотическое и общетоксичное воздействие на организм человека, вызывает раздражение дыхательных путей, негативно воздействует на почки и печень. Ацетальдегид с ПДК_{р.з.} = 5 мг/м³ при высоких концентрациях вызывает признаки резкого раздражающего действия с удушьем, сильным ка-

шлем, впоследствии развивается бронхит и пневмония. 3,4-дихлорбутен-1 с ПДК_{р.з.} = 3 мг/м³ оказывает наркотическое и общетоксическое воздействие, при попадании на кожу вызывает сильные, долго незаживающие химические ожоги [3].

Разработанная схема обезвреживания газообразных выбросов на производстве хлоропреновых каучуков, основанная на абсорбционном способе очистки, позволяет значительно снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух и тем самым минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Существующие технологии и оборудование по обезвреживанию газообразных выбросов позволяют подобрать оптимальное решение с целью минимизации негативного воздействия на организм человека и окружающую среду, что подтверждается количественными и качественными показателями, приведенными выше. Разработанная авторами схема по обезвреживанию газообразных выбросов на примере производства хлоропренового каучука позволяет управлять составом выбросов, тем самым регулировать их количество в пределах ПДК_{р.з.}.

Работа выполнена в рамках государственного задания No 0082-2014-0005. Номер государственной регистрации ЦИТИС: АААА-А17-117091220076-4.

Литература

1. Александров В.Н., Емельянов В.И. Отравляющие вещества. М., Военное издательство, 1990. С. 202–225.
2. Справочник ИТС 40–2017 "Дубление, крашение, выделка шкур и кожи". М., Бюро НТД, 2017. 111 с.
3. Кузьмин В.В., Кузьмин В.И., Ханчадаров И.Г. Повышение безопасности труда в производстве обуви. Тезисы докладов. М., ЦИИИТЭНлепром, 1989. С. 37–38.

References

1. Aleksandrov V.N., Emel'yanov V.I. Otravlyayushchie veshchestva. M., Voennoe izdatel'stvo, 1990. S. 202–225.
2. Spravochnik ITS 40–2017 "Dublenie, krashenie, vydalka shkur i kozhi". M., Byuro NTD, 2017. 111 s.
3. Kuz'min V.V., Kuz'min V.I., Khanchadarov I.G. Povyshenie bezopasnosti truda v proizvodstve obuvi. Tezisy dokladov. M., TsIIITENlegprom, 1989. S. 37–38.

M.V. Dyubanov — науч. сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, 119991 Россия, г. Москва, ул. Косыгина 4, e-mail: dyubanovchph@gmail.com • O.V. Shapovalova — канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник • A.V. Рощин — д-р техн. наук, первый заместитель директора • Ю.А. Трегер — д-р хим. наук, гл. науч. сотрудник • A.A. Соловьянов — д-р хим. наук, зам. директора, Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды, 117628 Россия, г. Москва, 36 км МКАД, двлд. 1, стр. 4

M.V. Dyubanov – Research Scientist, N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics Russian Academy of Sciences, 119991 Russia, Moscow, Kosygin Str. 4, e-mail: dyubanovchph@gmail.com • O.V. Shapovalova – Cand. Sci. (Chem.), Senior Scientist Fellow • A.V. Roshchin – Dr. Sci. (Eng.), First Deputy Director • Yu.A. Treger – Dr. Sci. (Chem.), Chief Research Fellow • A.A. Solovyanov – Dr. Sci. (Chem.), Deputy Director, All-Russian Research Institute of Environmental Protection, 117628 Russia, Moscow, Moscow Ring Road 36 km, Household 1, bld. 4