

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВ И ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ИХ ПОВРЕЖДАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ РАБОТАЮЩИХ

*Н.Х. Амиров, Л.Р. Тухватуллина*

*Кафедра гигиены труда и профзаболеваний (зав. — чл.-корр. РАМН, проф. Н.Х. Амиров)  
Казанского государственного медицинского университета*

Крупнотоннажное производство и предприятия по переработке полиэтилена в нашей стране начинают развиваться с 60-х годов. С начала 1990-х годов промышленность полиолефинов, в том числе полиэтилена высокого и низкого давления (ПЭВД и ПЭНД) и полипропилена, занимает первое место по объему производства среди других пластических масс [22]. Полимерные материалы перерабатываются на специализированных заводах химической промышленности, предприятиях машино-, авиа-, судо- и приборостроения, легкой и других отраслей промышленности и на многочисленных предприятиях негосударственной собственности, где имеются отдельные участки и цеха по изготовлению пластмассовых изделий и материалов.

Основными способами термической переработки полиолефинов являются литье под давлением и экструзия. Процесс литья под давлением состоит в разогреве полимерного материала до пластично вязкого состояния и впрыскивании расплава под высоким давлением в охлажденную литевную форму, в которой происходит формирование изделия. Относительно хорошая текучесть полиэтиленов в расплавленном состоянии позволяет легко перерабатывать их при 150—300°C и давлении от 90 до 120 МПа. Материалу придается форма при непрерывном продавливании его через канал головки экструзионной машины. Этот способ выгодно отличается непрерывностью процесса, а температурный режим подбирают соответственно типу полимера в пределах 110—250°C [24].

В условиях термопереработки в некоторых полимерных цепях происходят гомолитический разрыв углерод-углеродных связей и образование макроалкильных свободных радикалов, обладающих высокой способностью инициировать цепные реакции. Кислород воздуха, быстро реагирующий с этими радикалами, поддерживает постоянный разрыв цепи с образованием соединений, содержащих гидроксильную, карбонильную и карбоксильную группы [7]. Наряду с этими соединениями в процессе термоокислительной деструкции полимеров в воздух рабочей зоны в составе сложных паро-газовых и паро-газо-аэрозольных смесей, часто вы-

сокотоксичных, выделяются эфиры, пероксиды, непредельные углеводороды, оксиды углерода [7, 11, 24].

Значительная часть оборудования, предназначенная для литья и экструзии полимерных материалов, является источником шума, неудовлетворительного микроклимата, загрязнения воздуха рабочей зоны вредными химическими соединениями. Последние входят в рецептуру пластмасс (мономеров соответствующих синтетических смол, катализаторы, растворители, красители, отвердители и др.) и образуются в процессе деструкции при их переработке в изделия или в процессе взаимодействия компонентов полимерной композиции между собой и полимерной пылью [19, 35].

На производствах по термической переработке полимеров химический фактор признается основной профессиональной вредностью. Исследованиями, выполненными в последние годы с применением современных физико-химических аналитических методов (газожидкостная хроматография, хроматомасс-спектрометрия и др.), показано, что газовоздушные смеси, образующиеся при термоокислительных процессах, содержат по несколько десятков компонентов [4, 25, 37]. В существующих ГОСТах в качестве возможных химических загрязнителей воздуха в процессе термической переработки этих полимеров упоминаются лишь ацетальдегид, формальдегид, карбоновые кислоты, диоксид углерода и полиэтиленовая пыль.

Еще в 1981 г. в газовоздушных пробах, полученных в процессе окислительной деструкции ПЭВД при температурах, близких к условиям переработки (220—290°C), методом масс-спектрометрии были идентифицированы 44 соединения. Эти вещества принадлежали к классам углеводородов, спиртов, кетонов, карбоновых кислот, циклических и простых эфиров; в их число входили 10 ранее не описанных продуктов деструкции полиэтилена — циклопропан, фуран, тетрагидрофуран, изобутанол, метилвинилкетон, валериановая, изовалериановая и капроновая кислоты, валеро- и бутиролактон [34].

При оценке условий труда в цехе, где производились изделия из пластмасс методами термопереработки, в воздухе рабочей зоны было выявлено 66 ингредиентов выделяющейся при этом смеси вредных веществ [25].

На производствах по термической переработке полиолефинов при санитарно-гигиеническом контроле производственной среды рекомендуется учитывать рецептуру полимера и в первую очередь определять в воздухе рабочей зоны следующие токсические вещества — формальдегид, ацетальдегид, уксусную и пропионовую кислоты, этилен, пропилен, оксиды углерода и этилена [24].

Согласно протоколам по оценке профессионального здоровья и безопасности США, при мониторинге воздушной среды производств по термической переработке полиэтиленового сырья до готовой продукции определяют количественное содержание 15 летучих продуктов термоокислительной деструкции полиэтилена. В их состав входят 6 альдегидов, 4 ароматических углеводорода, муравьиная и уксусная кислоты, фуран, тетрафуран и ацетон [37].

Наиболее вредными веществами, выделяющимися при переработке полиэтиленов высокого и низкого давления, исследователи называют оксид этилена и формальдегид, а в случае термостабилизированного полиэтилена — фосфористые или хлорорганические соединения [4, 17, 25]. Однако, как правило, вредное действие смеси летучих веществ оказывается значительно большим, чем эффекты отдельных компонентов, контролируемых в воздухе рабочей зоны.

По имеющимся в технических условиях и доступной литературе сведениям, качественный состав выделяющейся смеси летучих веществ непостоянен и часто полностью не расшифровывается. Они характеризуются как продукты термоокислительной деструкции. В литературе не всегда даются марка перерабатываемого полимера и детальная расшифровка состава газовой смеси, что может привести к противоречиям в оценке состояния воздушной среды и возможных эффектов воздействия на организм работающих. Фактически, по данным литературы и собственным исследованиям, санитарно-промышленные лаборатории служб санитарного надзора и центральные заводские лаборатории (ЦЗЛ) контролируют содержание лишь 4—6 химических загрязнителей воздуха, акцентируя свое внимание на разных веществах. Так, санитарно-гигиенический контроль воздуха рабочей зоны при термической переработке ПЭНД и ПЭВД и полистирола на термопластавтоматах и экструдерах ("ЧР-90", "Бузулук") проводился по содержанию окиси углерода, окиси этилена, стирола и этилена [15]. В воздушной же среде основных рабочих мест фабрики игрушек, изготавли-

ваемых из ПЭВД марки 15.803-020; 15.303.003; 15.802-020 и ПЭНД марки П-40-2-3 и 277-43 методом литья под давлением, Луганской городской СЭС контролируются окись углерода, стирол, ацетон, толуол, хлористый водород [21]. Среди ведущих вредных компонентов газовой смеси, определяемых ЦЗЛ в рабочей зоне участков по изготовлению полимерной тары и упаковки Казанского медико-инструментального завода и АО "Хитон" г. Казани, этиленоксид известен как канцероген, тем не менее не во всех случаях проводят анализ на предмет его выявления, хотя нередко он обнаруживается в концентрациях на уровне и выше его ПДК. Причины таких различий кроются не в сырье (ПЭВД марки 10713-020, 15802-020, ПЭНД марки 277-73, 267-13) и оборудовании (термопластавтоматы типа KuASy, ТП-63ДБ и др.) — на этих производствах они одинаковы. Не исключено, что на характер и степень загрязнений воздуха рабочей зоны при термообработке полимера оказывает влияние способ переработки. Так, Т. Tikuisis и соавт. [37] при сравнительном анализе летучих продуктов термоокислительной деструкции полиэтилена при различных видах термообработки (литье под давлением, штамповка, каландрование и экструзия) установили, что процесс экструзии полиэтилена в обычных условиях вентилирования представляет минимальную ингаляционную опасность.

Концентрации контролируемых химических веществ в воздухе рабочей зоны, согласно литературным данным, в ряде случаев превышают предельно допустимые в 1,2—3 раза [4, 15, 30]. Превышения наблюдаются преимущественно в холодный период года [32], этому также способствуют морально и технически устаревшее оборудование, неудовлетворительные условия вентилирования производственных помещений [6, 26].

Совершенствование технологических процессов приводит к снижению содержания химических веществ в воздухе рабочих помещений, определяемых в большинстве случаев на уровне и ниже ПДК. Опыт американских исследователей показывает, что из 50 проб воздуха рабочей зоны, взятых при процессах термообработки полиэтиленов, в 2% случаев концентрации меньше 10%, в одной пробе — меньше 50% от установленных пределов воздействия, в остальных пробах — ниже пределов обнаружения [37]. Такие концентрации оцениваются как токсические факторы производственной среды малой интенсивности. Однако организм не остается пассивным при действии нового для него химического фактора даже такого уровня, отвечая всем многообразием реакций, которые он способен мобилизовать как саморегулирующаяся биологическая система для сохранения гомеостаза [3].

Тепловое излучение оборудования и изделий может обусловить на рабочих местах неблагоприятный нагревающий микроклимат. Метеоусловия в основных производственных помещениях литейных цехов, как правило, неудовлетворительны: высокая температура воздуха (29—33°C; 40—45°C), значительные колебания относительной влажности (11—93%) и подвижности воздуха [ 8, 27, 31, 32].

К числу неблагоприятных факторов производственной среды экструзионных и литейных цехов относится шум. Средне- и высокочастотный шум, генерируемый литейными машинами (аэродинамический), возникает через каждые 20—60 секунд при выхлопе из машины отработанного воздуха. Уровень шума на высоких частотах (1000—4000 Гц) колеблется в пределах 86—102 дБ [15, 18].

Тяжесть и напряженность трудового процесса при литье и экструзии полимерных материалов вызваны использованием ручного труда при подьеме и перемещении тяжестей при подаче сырья на рабочее место и загрузке его в бункер, при съеме и упаковке изделий и усугубляются вынужденной рабочей позой с наклоном корпуса вперед, напряжением зрительного анализатора [1, 26, 32]. В результате физиолого-эргономических исследований производственного оборудования и рабочих мест литейщиц и экструзионщиц пластмасс труд литейщиц отнесен ко 2-й, а экструзионщиц — к 1-й категории тяжести и напряженности [1].

Продукты термоокислительной деструкции полимеров в условиях производства могут проникать в организм через органы дыхания, кожу и желудочно-кишечный тракт. Характер биологического действия полимерных композиций обусловлен их химическим составом и уровнем воздействия [14].

При воздействии паро-газо- и паро-газо-аэрозольных комплексов, образующихся при производстве и переработке полиолефинов, фено- и аминопластов, полистиролов, поливинилхлоридов и фторопластов, наряду с общетоксическим их эффектом, могут проявляться раздражающие, сенсибилизирующие, эмбрио- и гонадотоксические, а также канцерогенные и мутагенные свойства [14, 26, 32, 34]. Сообщения об эффектах воздействия на организм работающих производственных условий при термической переработке ПЭВД и ПЭНД как отдельной сырьевой группы единичны [25, 36, 37].

Традиционно используемая при оценке состояния здоровья работающих заболеваемость с временной утратой трудоспособности (ЗВУТ) на производствах переработки наиболее широко распространенных полимеров (полистирол, полиэтилен, полипропилен, фено- и аминопласты и др.) достаточна высока [26]. Углубленные медицинс-

кие осмотры работников полимерперерабатывающих производств, в том числе ПЭВД и ПЭНД, выявляют значительный уровень (до 85% от числа обследованных) распространенности хронической патологии [26]. Особенно выражена частота заболеваний органов дыхания (60,1 случаев на 100 обследованных) и пищеварения (63—81), ЛОР-органов (12—49), нервной системы (60—65), опорно-двигательного аппарата (65,6), половой сферы (60—97) [4, 26, 32].

Частыми проявлениями раздражающего и общетоксического действия химических веществ и полимерной пыли являются поражения слизистой оболочки полости рта (стоматит, гингивит), глаз (конъюнктивит, блефарит), верхних дыхательных путей, протекающие по типу ринитов, фарингитов, ларингитов [13, 26, 32, 36].

Уже на ранних этапах общетоксического воздействия химических агентов полимерных производств развивается дисфункция нервной системы, которая проявляется астеновегетативным синдромом, усиливающимся невротипией. Более чем у 60% лиц, занятых в пластмассовом производстве, имеют место вегетососудистые расстройства по гипертоническому и смешанному типам и носят хронический необратимый характер [4, 15].

Химические соединения воздействуют на разных уровнях, что весьма актуально для современных производственных условий, причем в течение длительного времени. Для них характерен канцерогенный эффект, влияют они также на системы и структуры, более чувствительные к воздействию агентов на низких уровнях в течение длительного периода (иммунная и репродуктивная) [33].

Сведения об изменениях иммунологической реактивности у лиц, занятых термической переработкой пластмасс, единичны. Преимущественно указано на дисбаланс клеточного и гуморального иммунитета, заключавшийся в Т-лимфопении, уменьшении количества активных клеток и повышении количества нулевых клеток, значительном увеличении уровня ЦИК [4]. Сообщается о достоверном снижении естественной резистентности организма работающих в сравнении с контрольной группой по числу микробов глубокой аутофлоры кожи и фагоцитарной активности нейтрофилов, причем с увеличением стажа разница возрастает [26]. Сниженная резистентность организма, в свою очередь, может явиться одним из патогенетических механизмов развития заболеваний органов дыхания, половых органов, кожи, которые часто встречаются у работников пластмассовых производств [15, 18, 32].

Современные исследования показывают актуальность оценки производственных факторов различной природы в совокупности. Изучение их комбинированного воздействия

на конкретных рабочих местах позволяет достовернее оценивать характер и объемы изменений в организме работающих. Так, сочетанное хроническое воздействие психоэмоционального стресса и малых концентраций оксида углерода сопровождается увеличением количества В-клеток, снижением доли Т-клеток с преимущественным их функциональным ослаблением, снижением фагоцитарной функции нейтрофилов и бактерицидных свойств плазмы [10].

Производственный шум на сегодняшний день является одним из наиболее распространенных агрессивных факторов производственной среды. Под действием шума в иммунной системе снижается антиинфекционный иммунитет, создаются благоприятные условия для развития аутоиммунных и аллергических процессов, снижается противоопухольевый иммунитет [9].

Подавляющим большинством авторов отмечается достоверно высокая частота заболеваний женской половой сферы и нарушений репродуктивной функции (до 97%) у работниц, занятых в производстве пластмасс [4, 15, 26, 32, 34]. Среди гинекологических заболеваний основными называются опущения стенок влагалища и матки, воспалительные заболевания и функциональные нарушения яичников, проявляющиеся преимущественно нарушением менструальной функции. Показано, что гипоменструальный синдром, непосредственно отражающий возникающие патологические процессы в яичниках, наиболее характерен лишь для термообработчиц [32]. Основными факторами трудового процесса, провоцирующими развитие воспалительных заболеваний, являются гиподинамия и рабочая поза сидя, а нарушения менструального цикла коррелируют с интенсивностью воздействия химических веществ и длительностью стажа работы [4, 26].

В структуре нарушений течения беременности, по литературным данным, у работниц основных профессий, особенно в первый год работы, преобладают угроза прерывания беременности, ранние и поздние токсикозы, самопроизвольные аборт, а среди осложнений родов — преждевременные роды и родовое излитие околоплодных вод [15, 26].

Указанные выше нарушения иммунологической и репродуктивной систем, особенно у рабочих с небольшим производственным стажем, указывают на их высокую чувствительность к повреждающему действию вредных факторов и на вероятность проявления генотоксического и мутагенного эффектов воздействия производственной среды при термообработке полиэтиленов. Например, широко известно о взаимосвязи между накопленными мутациями и снижением фертильности, спонтанными аборта-

ми, мертворождениями и наследственными заболеваниями. В 20% случаев спонтанные аборт возникают в результате разнообразных аберраций хромосом [2].

К настоящему времени уже доказано влияние факторов окружающей среды на производстве и в быту на геном человека. Их действие проявляется в повреждениях ДНК, которые развиваются на разных уровнях — молекулярном, геномном, хромосомном. Они могут вызывать разнообразные биологические эффекты — врожденные наследственные дефекты и заболевания у потомства индивида, подвергшегося воздействию мутагена, злокачественные новообразования, иммунодефицит, диабет и др. [2]. Многочисленные генотоксические соединения — продукты и сырье химической промышленности — действуют на ДНК сами или через продукты метаболизма. Несомненно, что вредные факторы производственной среды вносят определяющий вклад в генотоксические эффекты как в сфере промышленной экологии, так и экологии в целом. Так, при термической переработке полиэтиленов в воздухе рабочей зоны обнаруживается ряд токсикантов, которые, согласно последним данным международного агентства по изучению рака (МАИР), отнесены к различным группам мутагенов (формальдегид, стирол, окись этилена) [16]. Ряд авторов указывают на важность изучения отдаленных последствий воздействия полимеров и пластических масс: тератогенных, эмбриотоксических, канцерогенных [23, 29]. Сообщений об изучении мутагенных и канцерогенных эффектов в условиях термообработки ПЭВД и ПЭНД в доступной литературе нет.

Анализ литературных данных позволяет сделать выводы, что производственная среда литейных и экструзионных цехов характеризуется сочетанием химических и физических факторов малой и средней силы, без обособления доминантного компонента. На рабочих местах, особенно летом, отмечаются высокая температура воздуха и оборудования, неравномерность параметров микроклимата, шум, превышающий ПДУ. Трудовой процесс характеризуется физическими нагрузками. Особенностью химического фактора как профессиональной вредности в производствах по переработке полиэтиленов является воздействие сложного комплекса химических соединений в малых концентрациях. Сведения о компонентах газовой смеси противоречивы, причем их состав может меняться в течение рабочей смены и трудового стажа.

Таким образом, при процессах термообработки полиэтиленов организм работающих испытывает многофакторное воздействие средней и малой интенсивности без выделения доминантного фактора. В этих условиях важное значение приобретает интег-

ральная оценка условий труда по "Гигиеническим критериям оценки условий труда..." [5]. Особый интерес вызывает уточнение фактического качественного и количественного состава загрязнителей воздуха с помощью высокочувствительных методов анализа. При оценке профессионального риска для здоровья работающих требуется комплексный подход к проблеме выявления характера и степени причиняемого ущерба, желательна на ранних этапах их проявления. Перспективно в этом плане проследивание иммунологических и генотоксических эффектов воздействия вредных факторов производственной среды на организм [12, 20]. Проводимые на производствах медицинские осмотры работающих во вредных и опасных условиях труда желательно дополнять целенаправленным скринингом различных систем и органов [28]. Одновременное выявление значимых социальных, экономических, профессиональных и других факторов в формировании медико-биологических нарушений позволит дать объективную оценку ущерба здоровью работающих на производствах термообработки ПЭВД и ПЭНД.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев Ш.Н.//Гиг. труда. — 1985. — № 7. — С. 48—52.
2. Абилов С.К., Порошенко Г.Г. Итоги науки и техники. Серия "Токсикология", т. 14/Под ред. Г.А. Степанского и Л.М. Фонштейн. — М., 1986.
3. Бабанов Г.П.//Гиг. и сан. — 1972. — № 1. — С. 93—96.
4. Баркова М.Х., Германов В.Т., Капустина В.И. и соавт. Экология промышленного региона Донбасса и реактивность организма./ Сб. тр. сотрудин-та. — Луганск, 1990.
5. Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса./ Руководство — М.; 1994.
6. Гилязова Д.Г., Бройда В.А., Нарбеков А.И.//Пластич. массы. — 1990. — № 11. — С. 78—79.
7. Грасси Н., Скотт Д. Деструкция и стабилизация полимеров. — М., 1988.
8. Гримитлин М.И. Комплексные проблемы охраны труда. /Научн. тр. — М. 1985.
9. Гришина Т.И., Суворова К.О.//Мед. труда и пром. экол. — 1997. — № 3. — С. 26—29.
10. Дуева Л.А., Толмачев Д.А., Волкова А.П.//Гиг. труда. — 1992. — № 8. — С. 25—27.
11. Заворовская Н.А., Нехорошева Е.В., Костилян К.С.// Пластич. массы. — 1986. — № 10. — С. 45—47.
12. Иванова Л.А., Безрукавникова Л.М., Кузьмина Л.П.// Мед. труда и пром. экол. — 1995. — № 5. — С. 23—26.
13. Калиева А.М., Байбулова К.К. Болезни пародонта. — Алма-Ата, 1985.
14. Комарова Е.И. Материалы по токсикологии продуктов термоокислительной деструкции некоторых пластмасс: Автореф. дисс. ...канд. мед. наук. — Л., 1968.
15. Лосева И.Е., Елисейская Р.Р., Абдуллаев Ш.Н.//Азерб. мед. журн. — 1983. — № 9. — С. 15—19.
16. Монографии Международного агентства по изучению рака (МАИР) по оценке канцерогенной опасности химических соединений для человека. Т. 59—61 (продолжение обзора)./Токс. вестник. — 1997. — № 1. — С. 32—33.
17. Немчинов Н.Н., Муравьева Г.В., Беликов А.Б. и др.//Гиг. труда. — 1986. — № 8. — С. 33—35.
18. Пасенкова Н.А. Гигиена труда и состояние здоровья работающих в химической, стекольной и других отраслях промышленности. /Научн. тр. — М., 1980.
19. Пергуд Е.А. Химический анализ воздуха (новые и усовершенствованные методы). — Л., 1976.
20. Петров Р.В., Хаитов Р.М., Манько В.М. и соавт.//Иммунология. — 1994. — № 6. — С. 4—6.
21. Пикалюк В.С.// Гиг. и сан. — 1992. — № 11—12. — С. 71—74.
22. Полякова А.В., Бодаев В.К., Ефремова Р.С. и соавт.//Пластмассы. — 1990. — № 10. — С. 11—14.
23. Сивочалова О.В. Гигиена труда при переработке полимерных материалов. Научн. тр. — М., 1982.
24. Симонов И.А., Нехорошева Е.В., Заворовская Н.А. Анализ воздушной среды при переработке полимерных материалов. — Л., 1988.
25. Сухова Т.И., Соболев А.И.//Гиг. труда. — 1994. — № 9. — С. 14—17.
26. Сыросенко Л.И. Гигиена труда женщин при изготовлении изделий из пластмасс в приборостроении: Автореф. дисс. ...канд. мед. наук. — Иркутск, 1988.
27. Филатов В.И., Кольцов А.А., Кац И.И. и соавт. Комплексные проблемы охраны труда. /Сб. научн. работ ин-тов охраны труда ВЦСПС. — М., 1985.
28. Хамитова Р.Я. Проблема оценки риска ущерба здоровью работающих (на примере производства бытовой химии): Автореф. дисс. ...докт. мед. наук. — М., 1995.
29. Шефтель В.О.//Гиг. и сан. — 1986. — № 5. — С. 41—44.
30. Шкурко Г.А. Научно-технический прогресс и проблемы гигиены труда. — Киев, 1988.
31. Эльтерман Л.В., Смирнова Т.А., Гутина В.П. Сб. научн. работ институтов охраны труда ВЦСПС: Безопасность и гигиена труда. — М., 1988.
32. Янчилина Т.П. Гинекологическая заболеваемость и нарушение менструальной функции у женщин-работниц, занятых в производстве полимерных изделий: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. — Челябинск, 1980.
33. Foa V., Ferioli A.// Med. Lav. — 1990. — Vol. 81. — P. 11—12.
34. Hemminki K., Fransilla E., Vaino H.// Int. Arch. Occup. environ. Health. — 1980. — Vol. 45. — P. 123—126.
35. Iring R., Laszlo-Hedvig Z., Barabas M. et al.// Mag. Kem. fol. — Budapest, 1978.
36. Robinson C., Flindt W.// Ann. Occourp. Hyg. — 1982. — Vol. 5. — P. 291—298.
37. Tikuisis T., Phibbs Mr., Sonnenberg Kl.// Am. Ind. Hyg. Assoc. J. — 1995. — Vol. 56. — P. 809—814.