

УДК 613.6.027

**ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ РАБОТНИКОВ
ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКОН**Новикова Т.А.¹, Алешина Ю.А.¹, Безрукова Г.А.¹, Микеров А.Н.^{1,2}¹Саратовский МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», Саратов, Россия²ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России, Саратов, Россия

Производство химических волокон включено в списки производств, работ, профессий и должностей с особо вредными и особо тяжелыми условиями труда, за занятость в которых работники имеют право досрочного выхода на пенсию по возрасту на льготных условиях. Однако факторы риска здоровью работников в современных условиях остаются недостаточно изученными, что и определило актуальность исследований.

Цель исследования. *Априорная оценка профессионального риска здоровью работников производства полиакрилонитрильных волокон.*

Материалы и методы. *Изучены условия труда в производстве полиакрилонитрильных (ПАН) волокон и жгутов. Санитарно-гигиенические исследования выполнены с применением общепринятых стандартизированных методик. Оценка профессионального риска для здоровья работников проведена в соответствии с действующими принципами и критериями.*

Результаты. *Установлено, что работники производства ПАН волокон и жгутов в процессе трудовой деятельности подвержены сочетанному воздействию комплекса вредных химических веществ 1-4 классов опасности (акрилонитрил, метилакрилат, гидроцианид, аммиак, щелочи едкие, серная кислота, метанол, изопропиловый спирт, этиленгликоль), производственного шума, физических и эмоциональных перегрузок, формирующих вредные условия труда 1-3 степеней (классы 3.1-3.3). Профессиональный риск здоровью работников соответствует категориям от малого до высокого в зависимости от сочетания и уровней воздействующих факторов на различных этапах технологического процесса. Вероятными нарушениями здоровья работающих в условиях аддитивного общетоксического действия цианидов, нитрилов и акрилатов могут стать хронические профессиональные интоксикации с поражением различных функциональных систем (системы крови, нервной, бронхолегочной, сердечно-сосудистой, гепатобилиарной, эндокринной, репродуктивной) и органов (кожи, органов зрения). Сочетанное воздействие производственного шума, физических и психоэмоциональных перегрузок в условиях химического загрязнения рабочей среды сопровождается синергическим эффектом, формируя риск развития болезней системы кровообращения, костно-мышечной системы и соединительной ткани, уха и сосцевидного отростка.*

Ключевые слова: *производство полиакрилонитрильных волокон, условия труда, работники, профессиональный риск здоровью.*

Для цитирования: Новикова Т.А., Алешина Ю.А., Безрукова Г.А., Микеров А.Н. Оценка профессионального риска для здоровья работников производства полиакрилонитрильных волокон. Медицина труда и экология человека. 2022; 3:85-101.

Для корреспонденции: Новикова Тамара Анатольевна, канд. биол. наук, доцент, зав. лабораторией гигиены труда Саратовского МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», e-mail: novikovata-saratov@yandex.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24411/2411-3794-2022-10308>

ASSESSMENT OF THE OCCUPATIONAL HEALTH RISKS TO POLYACRYLONITRILE FIBER WORKERS

Novikova T.A.¹, Aleshina Yu.A.¹, Bezrukova G.A.¹, Mikerov A.N.^{1,2}

¹ Saratov Hygiene Medical Research Center

“Medical and Preventive Health Risk Management Technologies”

Saratov, Russia

^{1,2} Saratov V.I. Razumovsky State Medical University

Saratov, Russia

The production of chemical fibers is included in the lists of industries, jobs, professions and positions with especially harmful and especially difficult working conditions in which workers have the right to early retirement by age on preferential terms. However, risk factors for the health of workers in modern conditions remain insufficiently studied, which determined the relevance of research.

The purpose of the study. *A priori assessment of the occupational health risks to polyacrylonitrile fibers workers.*

Materials and methods. *The working conditions in the production of polyacrylonitrile (PAN) fibers and tows have been studied. Sanitary and hygienic studies were performed using generally accepted standardized methods. A priori assessment of the occupational risk to the health of workers was carried out based on the results of the hygienic classification of working conditions factors in accordance with the current principles and criteria.*

Results. *It has been shown that PAN fibers and tows workers in the course of their work are exposed to the combined effects of a complex of harmful chemicals of 1-4 hazard classes (acrylonitrile, methyl acrylate, hydrocyanide, ammonia, caustic alkalis, sulfuric acid, methanol, isopropyl alcohol, ethylene glycol), industrial noise, physical and emotional overload, forming harmful working conditions of 1-3 degrees (Classes 3.1-3.3). The occupational risk to the health of workers corresponds to categories from low to high, depending on the combination and levels of influencing factors at various stages of the technological process. Probable health disorders among workers under the conditions of additive general toxic action of cyanides, nitriles and acrylates can lead to the development of chronic occupational intoxications with damage to various functional systems (blood, nervous, bronchopulmonary, cardiovascular, hepatobiliary, endocrine,*

reproductive) and organs (skin, organs vision). The combined impact of industrial noise, physical and psycho-emotional overloads in conditions of chemical pollution of the working environment is accompanied by a synergistic effect, forming the risk of developing diseases of the circulatory system, musculoskeletal system and connective tissue, ear and mastoid process.

Keywords: production of polyacrylonitrile fibers, working conditions, workers, occupational health risk.

Citation: Novikova T.A., Aleshina Yu.A., Bezrukova G.A., Mikerov A.N. Assessment of the occupational health risks to polyacrylonitrile fiber workers. *Occupational Health and Human Ecology*. 2022;3: 85-101.

Correspondence: Tamara A. Novikova - Candidate of Biology, Head of the Laboratory of Occupational Health, Saratov Hygiene Medical Research Center of the FBSI «FSC Medical and Preventive Health Risk Management Technologies». E-mail: novikovata-saratov@yandex.ru.

Financing: the study had no financial support.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24411/2411-3794-2022-10308>

Приоритетной мерой сохранения здоровья работающего населения при реализации Концепции демографической политики Российской Федерации² служит формирование здоровой производственной среды и снижение рисков развития заболеваний на рабочих местах. Однако недостаточная изученность факторов производственной среды в различных производствах экономической деятельности затрудняет разработку обоснованных мер профилактики профессиональных рисков здоровью работающих.

Одним из перспективных направлений инновационного развития Российской национальной экономики, во многом определяющим ее сырьевую базу, в настоящее время является производство химических волокон. Имеющиеся в научной литературе данные немногочисленных исследований свидетельствуют о том, что условия труда в производстве химических полиакрилонитрильных (ПАН) волокон, ранее используемых в основном в текстильной промышленности, характеризовались загрязнением воздуха рабочей зоны комплексом вредных химических веществ, повышенными уровнями шума, тяжестью и напряженностью труда [1-5]. В новом тысячелетии ПАН волокно нашло применение как основополагающее сырье при получении высокопрочных и высокомодульных углеродных волокон, применяемых в качестве армирующих компонентов композиционных материалов. Наличие промышленной базы в производстве углеродных волокон рассматривается как условие обеспечения технологической независимости в организации обороноспособности стран [6, 7].

Однако современные аспекты условий труда в производстве ПАН волокон остаются мало изученными, кроме того, в проведенных ранее исследованиях не освещены вопросы

²План мероприятий по реализации в 2021-2025 годах Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года (утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2021 г. № 2580-р). Доступно по <https://docs.cntd.ru/document/608644722>. (дата обращения 01.06.2022).

оценки профессионального риска здоровью работников, что определило актуальность исследований.

Целью исследования явилась априорная оценка профессионального риска здоровью работников производства полиакрилонитрильных волокон.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись условия труда в производстве ПАН волокон и жгутов. Исследованы содержание вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны, параметры микроклимата, световой среды, производственного шума и трудового процесса по результатам собственных исследований, проведенных с применением адекватных стандартизованных методик, и данным санитарного мониторинга, осуществляемого аккредитованной производственной лабораторией предприятия. Гигиеническая оценка и классификация условий труда проведена в соответствии с действующими санитарными правилами и нормативами³, гигиеническими критериями и классификацией условий труда⁴. Всего проведено 756 исследований параметров микроклимата, световой среды, шума, 304 - воздуха рабочей зоны, 150 - тяжести и напряженности трудового процесса. При оценке профессионального риска здоровью работников руководствовались принципами и критериями⁵, общепринятыми в медицине труда. Для статистической обработки результатов исследований использованы прикладные программы Microsoft Excel XP и Statistica 10.0.

Результаты. Исходным сырьем для получения ПАН волокон и жгутов в обследуемом производстве являются акрилонитрил (НАК) и прекурсор метилакрилат (МА), превращаемые в процессе полимеризации в сополимер полиакрилонитрил, из которого получают прядильный раствор путем его растворения при нагревании до температуры 220-250 °С в водном растворе роданида натрия.

Технологический процесс получения ПАН волокон состоит из непрерывно протекающих стадий, осуществляющихся в герметичном оборудовании двух основных производственных цехов – химического и прядильного. В химическом цехе происходит растворение сырья, синтез полимеров методом полимеризации, обезвоздушивание и фильтрация прядильного раствора, а также очистка и регенерация растворителя для повторного использования. Формование нити из прядильного раствора, промывка, ориентационное вытягивание, сушка, отделка волокон, производство ПАН жгутов осуществляются в прядильном цехе.

³ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (Дата обращения 12.03.2022).

⁴ Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда». Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200040973> (Дата обращения 12.06.2022).

⁵ Р 2.2.1766-03 «Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки». Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/901902053> (Дата обращения 12.03.2022).

С целью предупреждения воздействия химических веществ на работников предприятием выполняется ряд взаимодополняемых предупредительных мер, включающих дистанционное управление и контроль технологического процесса в автоматизированном режиме, непрерывный мониторинг содержания токсических веществ в воздухе рабочей зоны; сигнализацию об опасности аварийной ситуации, применение средств индивидуальной защиты.

Основные профессии рабочих производства представлены аппаратчиками отделений получения МА, полимеризации, фильтрации и обезвоздушивания прядильного раствора, формования химического волокна, очистки, регенерации и восстановления роданистых стоков и операторами дистанционных пультов управления в химическом производстве, машинистами холодильных установок, фильерщиками, сортировщиками, прессовщиками, упаковщиками. К вспомогательным профессиям относятся слесари-ремонтники, слесари КиП и А, электромонтеры по ремонту и обслуживанию электрооборудования.

Результаты исследования показали, что на 68% рабочих мест производства обнаруживались вредные вещества 1-4 классов опасности, отличающиеся действием на организм человека. Состав комплексов вредных химических веществ, присутствующих в воздухе рабочей зоны работников, и их концентрации находились в зависимости от применяемого сырья, промежуточных и конечных продуктов на каждом из этапов технологического процесса (табл. 1).

Таблица 1

Загрязнение воздуха рабочей зоны вредными химическими веществами и аэрозолями фиброгенного действия в производстве ПАН волокон

Table 1

Air pollution of the working area with harmful chemicals and fibrogenic aerosols in the production of PAN fibers

Наименование вещества (техническое название)	Максимально допустимая концентрация, мг/м ³ *	ПДК мг/м ³ *	Класс опасности	Действие на человека	Поражаемые органы и системы ⁶
Проп-2-енонитрил+ (акриловой кислоты нитрил; акрилонитрил), п	0,2/2,8 5	1,5/0,5	2	А	Центральная нервная, эндокринная, дыхательная системы, желудочно-кишечный тракт, система крови, почки, печень, кожные покровы и слизистые оболочки, органы зрения

⁶ Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ. Доступно по: <http://www.rpohv.ru/online/> (дата обращения 12.06.2022).

Метилпроп-2-еноат (акриловой кислоты метиловый эфир; метилакрилат), п	2,0/21	15/5	3	-	Центральная нервная, дыхательная системы, желудочно-кишечный тракт, печень, почки, органы зрения
Метанол + (метиловый спирт), п	2,0/22,5	15/5	3	-	Центральная нервная, сердечно-сосудистая системы, печень
Щелочи едкие/ /растворы в пересчете на гидроксид натрия/	0,2/-	0,5	2	-	Дыхательная, сердечно-сосудистая системы, желудочно-кишечный тракт, почки, печень, кожные покровы, органы зрения
Серная кислота +, а	0,35/-	1	2	-	Центральная нервная, дыхательная, сердечно-сосудистая системы, желудочно-кишечный тракт, печень, почки, селезенка, система крови, кожные покровы, органы зрения
Пропан-2-ол (изопропиловый спирт), п	6,0./-	50/10	3	-	Дыхательная система, печень, почки, сердце, селезенка, органы зрения
Аммиак, п	5,0./-	20	4	-	Дыхательная, нервная системы, органы зрения, кожные покровы
Гидроцианид+ (водород цианид, синильная кислота), п	0,12/-	0,3	1	О	Выраженная тканевая гипоксия, центральная нервная, дыхательная, сердечно-сосудистая системы, кожные покровы и слизистые оболочки
Этан-1,2-диол (этиленгликоль), п+а	3,0./-	10/5	2	-	Центральная нервная, эндокринная, система крови, мочевыделительная, печень, поджелудочная железа, желудочно-кишечный тракт
Полипроп-2-енонитрил (поリアкрилонитрил), а	-/0,5	-/5	3	Ф	Органы дыхания, кожные покровы

Примечания: + - вещества, при работе с которыми требуется специальная защита кожи и глаз; агрегатное состояние: п - пары, а - аэрозоль, п + а - смесь паров и аэрозоля; * - в числителе в штатном режиме, в знаменателе при утечках; ** - в числителе максимально разовая концентрация веществ, в знаменателе - среднесменная; А - аллергены; Ф - аэрозоли преимущественно фиброгенного действия; О - вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе.

Notes: + - substances, when working with which special protection of the skin and eyes is required; state of aggregation: p - vapors, a - aerosol, "n + a" - a mixture of vapors and aerosol; * - in the numerator in normal mode, in the denominator with leaks; ** - in the numerator the maximum one-time concentration of substances, in the denominator - the average shift; A - allergens; F - aerosols of predominantly fibrogenic action; O - substances with highly directional mechanism of action requiring automatic control over their content in the air.

Работники отделения полимеризации подвергались аддитивному воздействию цианистых соединений – акрилонитрила и синильной кислоты. При контролируемой штатной работе оборудования расчетный коэффициент суммации ($K_{\text{сумм}}^7$) данных токсикантов не превышал единицы, что, согласно действующим критериям, соответствовало допустимым условиям труда. При кратковременных утечках его значение возрастало в 2,5 раза, что приводило к вредным условиям труда 2 степени (класс 3.2).

В воздухе рабочей зоны химического цеха одновременно присутствовали щелочи едкие и серная кислота, обладающие эффектом суммации однонаправленного раздражающего действия с одинаковой симптоматикой клинических проявлений. $K_{\text{сумм}}$ их действия при всех режимах работы не превышал единицы, что позволило оценить условия труда при воздействии комбинации данных веществ как допустимые (класс 2).

Интермиттирующее воздействие комплекса вредных химических веществ сочеталось с широкополосным производственным шумом, источниками которого являлись работающие насосные и компрессорные установки, трубопроводы, вентиляционные системы, технологическое оборудование. Спектр шума был представлен всеми звуковыми частотами с преобладанием звуковой энергии в области высоких частот. Уровни шума превышали ПДУ практически на всех рабочих местах на 2-11 дБА. Наибольшее превышение ПДУ отмечалось в отделении формования прядильного цеха. Вместе с тем превышения эквивалентных уровней с учетом времени воздействия составляли 1-6 дБА, что было оценено как вредные условия труда 1-2 степеней вредности (классы 3.1-3.2). В звукоизолированных щитах управления и операторных уровни шума превышали ПДУ на 1-3 дБА, на рабочих местах машинистов холодильных установок – на 5 дБА (класс 3.1).

Параметры микроклимата не зависели от периода года и на всех рабочих местах стабильно находились в пределах допустимых значений с учетом категорий работ по уровню энерготрат организма. Температура воздуха колебалась в пределах 23,0-26,5 °С, относительная влажность воздуха составляла 49,0-52,0%, скорость его движения – 0,2-0,4 м/с.

Освещенность рабочей поверхности от искусственного освещения на щитах контрольно-измерительных приборов составляла 240-300 лк и 75-240 лк в зонах наблюдения за работой и обслуживания оборудования, что соответствовало нормативной (200 лк и 75 лк, соответственно). Аппаратчики фильтрации и обезвоздушивания отделения полимеризации, операторы дистанционного пульта управления химического производства, упаковщики химического волокна отделения упаковки, работники фильерной мастерской трудились в условиях отсутствия естественного освещения (класс 3.2). На остальных рабочих местах коэффициент естественной освещенности соответствовал физиологической норме.

Тяжесть труда работников основных профессий определялась длительным (60-80% и более смены) нахождением в позе стоя и периодическим (до 25-50% смены) поддержанием неудобных рабочих поз (класс 3.1). Более тяжелый физический труд (класс 3.2) выявлен у

⁷ Приказ Минтруда России от 24.01.2014 N 33н (ред. от 27.04.2020) «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению» (Приложение 8). Доступно по: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158398/ (Дата обращения 12.06.2022).

аппаратчиков и операторов прядильного цеха и работников отделения упаковки, выполняющих подъем и перемещение грузов вручную, а также операторов дистанционных пультов управления, труд которых связан с маршрутными переходами по горизонтали (более 8-12 км) и вертикали (до 2 км) при обслуживании оборудования.

Аппаратчики фильтрации и обезвоздушивания участка формования химического волокна (женщины) при обслуживании фильтрпрессов и прядильных ванн в течение 10-65% времени смены выполняли операции по замене фильтрополотен, ликвидации обрывов волокна, снятию и подмотке волокна вручную с подъемом и удержанием грузов более 12 кг при чередовании с другой работой (класс 3.2). При этом возникала вероятность загрязнения кожных покровов рук работниц раствором, содержащим НАК и МА, которые обладают кожно-резорбтивным действием.

Напряженность трудового процесса в производстве ПАН волокон характеризовалась значительными эмоциональными нагрузками, что было связано с повышенной ответственностью за качество работ, риском для собственной жизни и высокой ответственностью за безопасность других лиц, обусловленными возможностью возгорания и взрыва НАК, обладающего способностью к самопроизвольной полимеризации при действии света и тепла. Опасность возгорания и взрыва усиливалась в связи с присутствием опасных продуктов горения (аммиака и цианистого водорода). Работники производства испытывали повышенные сенсорные нагрузки, формирующиеся в результате производственной необходимости восприятия речи или звуковых сигналов на фоне шумовых помех.

Рабочие прядильного цеха были подвержены нагрузке на органы зрения при продолжительном (51% и более времени смены) сосредоточенном наблюдении и различении тонких нитей (менее 0,3 мм) при малой контрастности. Напряженность труда увеличивалась за счет неблагоприятного режима работы – 8-часовой рабочий день при трехсменной работе с ночной сменой по скользящему графику.

Результаты гигиенической оценки и классификация факторов условий труда работников по степени отклонения их уровней от гигиенических нормативов позволили оценить априорный профессиональный риск здоровью от малого до высокого в зависимости от этапа производственного процесса и выполняемых работ (табл. 2).

Таблица 2

Оценка профессионального риска здоровью работников в производстве
полиакрилонитрильных волокон

Table 2

Occupational health risk assessment of polyacrylonitrile fibers workers

Этап производственного процесса	Наименование вредного фактора (класс условий труда)	Общая оценка	Категория профессионального риска
Очистка роданистых стоков, производство Пан-жгутов	химический (2) тяжесть труда (3.1) напряженность труда (3.1)	3.1	Малый (умеренный) риск
Получение метилакрилата, синтез полиакрилонитрила, фильтрация и деаэрация прядильного раствора, регенерация роданистых стоков, приготовление химических растворов	химический (2-3.2*) световая среда (3.1-3.2) шум (3.1) тяжесть труда (3.1-3.2) напряженность труда (3.1)	3.2-3.3	Средний (существенный)- высокий (непереносимый) риск
Прядение, сухая отделка, намотка, упаковка ПАН волокон и жгутов	АПФД (2) световая среда (2-3.2) шум (3.1-3.2) тяжесть труда (3.1-3.2) напряженность труда (3.1)	3.2-3.3	Средний (существенный)- высокий (непереносимый) риск

Примечание: * - при нештатных ситуациях

Note: * - in emergency situations

Как следует из представленных данных, профессиональный риск здоровью работников средней и высокой категорий формировался в результате совокупного воздействия химических веществ, превышающих ПДК при нештатных ситуациях, недостаточного освещения, производственного шума, тяжести и напряженности труда, фактические уровни которых в различной степени не соответствовали действующим гигиеническим нормам на различных этапах технологического процесса.

Обсуждение. Результаты исследований позволили установить, что работники производства полиакрилонитрильных волокон в процессе трудовой деятельности подвергались комбинированному воздействию вредных химических веществ, различных по степени опасности и действию на организм.

Вредные химические вещества и соединения, способные оказывать негативное воздействие на организм работников, были представлены исходными веществами (акрилонитрил и метилакрилат), растворителем (роданистый натрий), продуктами термической деструкции сополимеров (гидроцианид, аммиак), катализаторами и

реагентами (серная кислота, метанол, изопропиловый спирт), этиленгликолем, используемым в качестве хладоносителя. При штатном ведении технологического процесса концентрации всех вредных веществ и АПФД не превышали их ПДК.

Работники отделения полимеризации трудились в условиях сочетанного воздействия акрилонитрила и синильной кислоты, эффект суммации которых при контролируемой штатной работе не превышал единицы, но при кратковременных утечках его значение возрастало, повышая вредность условий труда по химическому фактору до класса 3.2.

При одновременном присутствии в воздухе рабочей зоны работников химического цеха щелочи едкой и серной кислоты, обладающих эффектом суммации однонаправленного раздражающего действия, условия труда оценены как допустимые.

На фоне низких концентраций вредных химических веществ приоритетную роль в формировании вредных условий труда играли производственный шум, тяжесть и напряженность трудового процесса, неблагоприятное влияние которых могло усиливаться при их комплексном и аддитивном воздействии.

Анализ вероятных нарушений здоровья работников, занятых в производстве полиакрилонитрильных волокон, позволил установить, что наибольшую опасность представляет профессиональный контакт с химическими соединениями, вредное воздействие которых может приводить к возникновению как острых, так и хронических интоксикаций, а также их соответствующих последствий с поражением различных органов и систем организма [3, 8].

Сильнодействующим ядовитым веществом в производстве является гидроцианид (1-й класс опасности), выделяющийся в воздух рабочей зоны в процессе полимеризации. Токсичность гидроцианида обусловлена его способностью, попадая в организм образовывать соединения с ионами тяжелых металлов, которые блокируют необходимые для клеточного дыхания ферменты, особенно цитохромоксидазу, что ведет к потере способности тканей усваивать кислород и развитию тканевой гипоксии. Последствиями гипоксии могут быть нарушения функции различных систем жизнедеятельности организма – обмена веществ, дыхания, центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, выраженность которых зависит от степени поражения. Длительное воздействие низких концентраций, недостаточных для отравлений, также может привести к развитию дерматитов, нередко сопровождающихся кожным зудом, эритемной сыпью, развитием хронической экземы [1, 3].

В организме гидроцианид быстро разрушается с образованием нетоксичных, особенно роданистых, соединений, выводящихся с мочой [3]. В работах, рассматривающих воздействие вредных факторов условий труда на здоровье работников, подвергающихся воздействию цианидов, было показано, что роданистые соединения при хроническом воздействии играют решающую роль в снижении глюкокортикоидной функции коры надпочечников, угнетении продукции гормонов щитовидной железы, способствуют развитию ретробульбарного неврита [9, 10].

Исходный продукт акрилонитрил (2-й класс опасности), определяемый в воздухе рабочей зоны на основных этапах работ, является органическим цианидом. Как и все цианистые соединения, обладает общетоксическим действием, действует подобно

гидроцианиду, вызывая тканевую гипоксию, раздражая кожу и слизистые оболочки [3]. Присутствуя в низких концентрациях акрилонитрил способен приводить к нарушениям функций сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Так, В.Я. Шустовым с соавт. (1991), установлено, что вдыхание работниками производства синтетического волокна нитрон паров акрилонитрила в концентрациях значительно ниже ПДК проводило к понижению артериального давления крови, приглушению основных тонов сердца, нарушению глоточных и сухожильных рефлексов, снижению жизненной емкости легких [9]. Другие авторы наблюдали умеренную анемию, лейкопению, атрофические риниты, парез голосовых связок. При физикальных и клинико-лабораторных исследованиях выявляли незначительное увеличение печени и ее болезненность при пальпации с сохранением функциональной способности [11, 12].

Сенсибилизирующее действие акрилонитрила на кожные покровы при длительном воздействии в низких концентрациях может вести к развитию контактного и аллергического дерматита с парестезией пальцев и предплечий, сопровождаясь кожным зудом, эритемой сыпью, образованием трещин, развитием хронической экземы [8, 9].

Имеются данные о нейротоксическом действии акрилатов. В работах М.М. Тарских с соавт. (2012) установлена связь развития астеноневротических расстройств у рабочих акрилонитрильного производства со стажем работы 7-8 лет в контакте с акрилонитрилом в концентрациях, превышающих ПДК в 4 и более раз. При более длительном контакте наблюдались выраженные когнитивные нарушения и тяжелые психоорганические состояния, включающие астенические проявления и аффективные расстройства личности в виде склонности к депрессии [13].

Кроме того, данный токсикант способен оказывать репротоксичное действие, обусловленное ингибированием синтеза, секреции, транспорта и метаболических эффектов ряда гормонов, участвующих в поддержании гомеостаза и сохранении фертильной функции мужчин и женщин [3]. Указанные свойства согласуются с данными зарубежных авторов, свидетельствующих об увеличении риска недоношенности, выкидышей и врожденных дефектов у младенцев у работниц химических производств, подвергавшихся воздействию акрилонитрила, у мужчин обнаруживалось значительное снижение уровня тестостерона [3, 14].

Международным агентством по изучению рака (IARC) НАК классифицирован как «возможно» канцероген (класса 2B) для человека. Доказана валидная связь между хроническим воздействием низких экспозиций акрилонитрила и раком мозга, легких, желудочно-кишечного тракта, мочевого пузыря, предстательной железы [12, 15, 16].

Метилакрилат (3-й класс опасности) также обладает общетоксическим действием, попадая в организм человека, он поражает центральную нервную и дыхательную системы, желудочно-кишечный тракт, печень, почки, органы зрения [1, 2]. В работах современных авторов хроническую интоксикацию акрилатами относят к редким нейротоксикозам, в клинической картине которых могут преобладать симптомы нарушения функции центральной и периферической нервной системы. Кочетовой с соавт. (2018) при исследовании профессиональной хронической интоксикации акрилатами было обнаружено у рабочих, контактирующих с метилакрилатом, снижение артериального давления,

повышение реакции оседания эритроцитов, холестеринемия, рост уровня некоторых глобулиновых фракций и свободных аминокислот, понижение содержания аминного азота в сыворотке крови [3, 17].

Общетоксическим действием с выраженными кумулятивными свойствами также обладают метанол, применяемый в производстве как реагент, и этиленгликоль, используемый в качестве хладоносителя. Метанол, являясь сильным нервно-сосудистым и протоплазматическим ядом, нарушает окислительное фосфорилирование, вызывая дефицит аденозинтрифосфорной кислоты, предпочтительно в тканях головного мозга и сетчатке глаз, что приводит в конечном итоге к демиелинизации и атрофии зрительного нерва [1]. Пары метанола способны раздражать слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей. Этиленгликоль способен вызывать хроническую интоксикацию [4].

Большинство из химических веществ, присутствующих в воздухе рабочей зоны работников полиакрилонитрильных волокон, обладает раздражающим действием. Натрий роданистый, водный раствор которого применяется при формовании волокна, относится к веществам щелочного происхождения, слаботоксичен. Пары едкого натра при вдыхании могут вызвать ожог верхних дыхательных путей [1, 3]. Серная кислота, применяющаяся в производстве МА, является высокоопасным, обладающим общетоксическим и разъедающим ткани веществом [1]. Пары изопропилового спирта также оказывают раздражающее воздействие на глаза и дыхательные пути, кроме того, угнетающе действуют на центральную нервную систему. Пары аммиака опасны при вдыхании; при попадании на слизистую органов дыхания и оболочки глаза он растворяется с образованием щелочи и вызывает ожоги [3].

Работники прядильного цеха и упаковки готовой продукции подвержены воздействию аэрозоля полиакрилонитрила, обладающего фиброгенным действием, который в силу кумулятивных эффектов может вызывать заболевания органов дыхания – пневмонии, токсические бронхиты, бронхиальную астму, хронические заболевания верхних дыхательных путей [1, 3].

Практически все химические вещества, присутствующие в воздухе рабочей зоны работников, являются irritантами и обладают выраженным раздражающим действием на орган зрения. Их острое воздействие может сопровождаться развитием конъюнктивита, а хроническое – прогрессированием близорукости [18].

Синергический эффект воздействия факторов производственной среды, физического и эмоционального перенапряжения в условиях химического загрязнения может приводить к повышению их негативного сочетанного воздействия по сравнению с изолированным [19]. Имеются данные о профессиональных поражениях сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата, уха и сосцевидного отростка, развитии сахарного диабета II типа в условиях сочетанного воздействия химических веществ, производственного шума и десинхроноза, обусловленного занятостью работников в непрерывном производственном процессе со сменным режимом труда [20-23].

Характерные для изучаемого производства опасность аварийных ситуаций, повышенная ответственность могут способствовать формированию у работников хронического психоэмоционального стресса, проявляющегося в нарушениях гомеостаза,

иммунной и нервной систем, снижении активности компенсаторно-приспособительных механизмов организма [24]. Согласно имеющимся в литературных источниках результатам экспериментальных и клинических исследований, профессиональный стресс ведет к развитию сердечно-сосудистых заболеваний, проявляясь в нарушении ритма сердца (синусовой тахикардии, экстрасистолии, фибрилляции и трепетании предсердий), процессов реполяризации на ЭКГ, снижении вариабельности сердечного ритма, гипертрофии левого желудочка, гиперхолестеринемии [25].

Известно, что психоэмоциональные факторы ускоряют развитие атеросклероза, приводят к снижению эластичности крупных артерий, местным и общим нарушениям кровообращения, что при наличии артериальной гипертензии сочетается с высоким риском поражения сердца, почек, головного мозга, увеличивают риск фатальных и нефатальных сердечно-сосудистых осложнений [24].

Выводы:

1. Условия труда в производстве синтетических ПАН волокон и жгутов характеризуются сочетанным воздействием вредных химических веществ 1-4 классов опасности, шума, физических перегрузок и напряженности трудового процесса, формирующих вредность условий труда 1, 2 и 3 степеней (классы 3.1, 3.2, 3.3).
2. Профессиональный риск для здоровья работников оценен в категориях от малого до высокого в зависимости от степени несоответствия уровней производственных факторов, воздействующих на различных этапах технологического процесса, гигиеническим нормативам.
3. Вероятными нарушениями здоровья работающих в условиях комплексного и аддитивного воздействия вредных химических веществ могут являться хронические профессиональные интоксикации с поражением различных систем (крови, нервной, бронхолегочной, сердечно-сосудистой, гепатобилиарной, эндокринной, репродуктивной) и органов (зрения, кожи).
4. Сочетанное воздействие производственных факторов различной природы (шума, тяжести и напряженности труда) в условиях загрязнения рабочей среды химическими веществами сопровождается синергическим эффектом, способствуя формированию риска болезней системы кровообращения, уха и сосцевидного отростка, костно-мышечной системы и соединительной ткани.

Список литературы:

1. Цианистые соединения. В кн. Варов В.К., Воробьев И.А., Зубков А.Ф., Измеров Н.Ф., редакторы. Российская энциклопедия по охране труда. М.: 2007. URL: <http://bio.niv.ru/doc/encyclopedia/work-safety/index.htm>.
2. Волокна химические, гигиена труда. В кн. Петровский Б.Н., редактор. Большая медицинская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 3-е изд. 1989. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006869872>.

3. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Том II. Органические вещества. Под ред. Н.В. Лазарева, Э.Н. Левиной. 7-е изд. Л.: Химия; 1979. 624 с.
4. Jacobsen D., McMartin K.E. Methanol and ethylene glycol poisonings. Mechanism of toxicity, clinical course, diagnosis and treatment *Med Toxicol*. 1986 Sep-Oct; 1(5): 309-34. <https://orcid.org/10.1007/BF03259846>.
5. Benn T. Osborne K. Mortality of United Kingdom acrylonitrile workers - an extended and updated study *Scand. J Work Environ Health*. 1998; 24; 17-24.
6. Тимошков П.Н., Севастьянов Д.В., Усачева М.Н., Хрульков А.В. Существующие и перспективные технологии получения ПАН-волокон (обзор). *Труды ВИАМ* 2019; 11 (83): 68-74.
7. Soren G.I., Dennerlein J.T., Peters S.E., Sabbath L., Kellye E.L., Wagnerb G.R. The future of research on work, safety, health and wellbeing: A guiding conceptual framework. *Social Science & Medicine*. 2021; 269: <https://orcid.org/10.1016/j.socscimed>.
8. Профессиональные риски нарушений здоровья у работников производств органического синтеза: монография. Под ред. Л.К. Каримовой, Т.М. Зотовой. Уфа; 2009. 140 с.
9. Шустов В.Я., Довжанский И.С. Анализ адаптивных реакций у рабочих в условиях производства химических волокон. *Гигиена труда и профессиональные заболевания*. 1987; 6: 18-21.
10. Тимофеева С.С., Тимофеев С.С., Беспалова В.З. Условия труда на золотоискательных фабриках и инновационные способы их улучшения. *Вестник ИрГТУ*. 2014; 9(92): 100-108.
11. Перепелкин К.Е. Волокна химические. В кн.: Большая российская энциклопедия. Т.2. М.; 2006. с. 663-664
12. Kaneko K, Omae K. Effect of chronic exposure to acrylonitrile on subjective symptoms. *Keio J Med*. 1992; 41(1): 25-32. <https://orcid.org/10.2302/kjm.41.25>.
13. Тарских М.М., Климацкая Л.Г., Колесников С.И. Исследование нейротоксичности акрилатов в эксперименте и у рабочих акрилонитрильного производства. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. 2012; 3(85), Ч. 2. С. 316-318.
14. Wu W., Su J., Huang M. An epidemiological study on reproductive effects in female workers exposed to acrylonitrile. *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi*. 1995; 29(2): 83-5. (in China)
15. Koutros S., Lubin J.H., Graubard B.I., Blair A., Stewart P.A., Beane Freeman L.E. (et al.). Extended Mortality Follow-up of a Cohort of 25,460 Workers Exposed to Acrylonitrile. *Am J Epidemiol*. 2019; 188(8): 1484-1492.
16. Marsh G.M., Youk A.O., Collins J.J. Reevaluation of lung cancer risk in the acrylonitrile cohort study of the National Cancer Institute and the National Institute for Occupational Safety and Health. *Scand J Work Environ Health*. 2001; 27(1): 5-3. <https://orcid.org/10.5271/sjweh.581>.
17. Кочетова О.А., Гребеньников С.В., Бойко И.В. К вопросу клинико-эпидемиологической характеристики профессиональной хронической интоксикации акрилатами. *Вестник психиатрии, неврологии и нейрохирургии*. 2018; 6: 53-57.
18. Бойко И.В., Карулина О.А. Вредное воздействие полимерных материалов на организм работников. СПб.: ГБОУ ВПО СЗГМУ им. И.И. Мечникова. 2014.

19. Заболотских В.В., Васильев А.В., Терещенко Ю.П. Синергетические эффекты при одновременном воздействии физических и химических факторов. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2016, т.18; 5(2): 290-295.
20. Chen C.J., Dai Y.T., Sun Y.M., Lin Y.C., Juang Y.J. Evaluation of auditory fatigue in combined noise, heat and workload exposure. *Ind. Health.* 2007 Aug; 45(4): 527-534 <https://orcid.org/10.2486/indhealth.45.527>.
21. Kivimäki M., Kawachi I. Work Stress as a Risk Factor for Cardiovascular Disease *Curr Cardiol Rep* 2015; 17(9): 630. <https://orcid.org/10.1007/s11886-015-0630-8>.
22. Gerr F., Fethke N.B., Anton D., Merlino L., Rosecrance J., Marcus M., Jones M.P. A prospective study of musculoskeletal outcomes among manufacturing workers: II. Effects of psychosocial stress and work organization factors. *Hum Factors.* 2014; 56(1): 178-90. <https://orcid.org/10.1177/0018720813487201>.
23. Golmohammadi R., Darvishi E. The combined effects of occupational exposure to noise and other risk factors - a systematic review *Noise Health.* 2019; 21 (101): 125-141. https://orcid.org/10.4103/nah.NAH_4_18.
24. Телкова Т.Л. Профессиональные особенности труда и сердечно-сосудистые заболевания: риск развития и проблемы профилактики. Клинико-эпидемиологический анализ. *Сибирский медицинский журнал.* 2012, Т. 27; 1: 17-26.
25. Krajnak KM. Potential Contribution of Work-Related Psychosocial Stress to the Development of Cardiovascular Disease and Type II Diabetes: A Brief Review. *Environ Health Insights.* 2014; 8: 41-5. <https://orcid.org/10.4137/EHI.S15263>.

References:

1. Cyanic compounds. In: Varov V.K., Vorobyov I.A., Zubkov A.F., Izmerov N.F., editors. Russian encyclopedia of labor protection. M.: 2007. URL: <http://bio.niv.ru/doc/encyclopedia/work-safety/index.htm>.
2. Chemical fibers, occupational health. In: Petrovsky B.N., editor. Big medical encyclopedia. Moscow: Soviet Encyclopedia, 1989. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006869872>
3. Harmful substances in industry. Handbook for chemists, engineers and doctors. T. II Organic matter. Lazarev N.V., Levina E.N., editors: Khimiya; 1979. 624 с.
4. Jacobsen D.,McMartin K.E. Methanol and ethylene glycol poisonings.Mechanism of toxicity, clinical course, diagnosis and treatment *Med Toxicol.* 1986 Sep-Oct; 1(5): 309-34.<https://orcid.org/10.1007/BF03259846>.
5. Benn T.Osborne K. Mortality of United Kingdom acrylonitrile workers - an extended and updated study *Scand. J Work Environ Health.* 1998; 24; 17-24.
6. Timoshkov P.N., Sevastyanov D.V., Usacheva M.N., Khrulkov A.V. Existing and promising technologies for obtaining PAN-fibers (review). *Proceedings of VIAM* 2019; 11 (83): 68-74.
7. Soren G.I., Dennerlein J.T., Peters S.E., Sabbath L., Kellye E.L., Wagnerb G.R. The future of research on work, safety, health and wellbeing: A guiding conceptual framework. *Social Science & Medicine.* 2021; 269: <https://orcid.org/10.1016/j.socscimed.2020.113593>.

8. Occupational risks of health disorders among workers in the production of organic synthesis: monograph. Karimova L.K., Zotova T.M., editors. Ufa: 2009. p.140.
9. SHustov V.YA., Dovzhanskii I.S. Analysis of adaptive reactions in workers in the production of chemical fibers. *Gigiena truda i professionalnye zabolevaniya*. 1987; 6: 18-21.
10. Timofeeva S.S., Timofeev S.S., Bespalova V.Z. Working conditions at gold digger factories and innovative ways to improve them. *Vestnik IrGTU*. 2014; 9(92): 100-108.
11. Perepelkin K.E. Chemical fibers. In: *Bolshaya rossiiskaya entsiklopediya*. T. 2. M.; 2006. c. 663-664
12. Kaneko K., Omae K. Effect of chronic exposure to acrylonitrile on subjective symptoms. *Keio J Med*. 1992; 41(1): 25-32. <https://orcid.org/10.2302/kjm.41.25>.
13. Tarskikh M.M., Klimatskaya L.G., Kolesnikov S.I. Study of the neurotoxicity of acrylates in the experiment and in workers of acrylonitrile production. *Bulletin of the VSNC SO RAMS*. 2012; 3(85), Ch. 2. S. 316-318
14. Wu W., Su J., Huang M. An epidemiological study on reproductive effects in female workers exposed to acrylonitrile. *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi*. 1995; 29(2): 83-5. (in Chinese)
15. Koutros S., Lubin J.H., Graubard B.I., Blair A., Stewart P.A., Beane Freeman L.E. (et al.). Extended Mortality Follow-up of a Cohort of 25,460 Workers Exposed to Acrylonitrile. *Am J Epidemiol*. 2019; 188(8): 1484-1492. <https://orcid.org/10.1093/aje/kwz086>.
16. Marsh G.M., Youk A.O., Collins J.J. Reevaluation of lung cancer risk in the acrylonitrile cohort study of the National Cancer Institute and the National Institute for Occupational Safety and Health. *Scand J Work Environ Health*. 2001; 27(1): 5-3. <https://orcid.org/10.5271/sjweh.581>.
17. Kochetova O.A., Grebennikov S.V., Boyko I.V., On the issue of clinical and epidemiological characteristics of occupational chronic intoxication with acrylates. *Vestnik psikiatrii, nevrologii i neyrokirurgii*. 2018; 6: 53-57.
18. Boiko I.V., Karulina O.A. The harmful effects of polymeric materials on the body of workers. SPb.: the Mechnikov GBOU VPO SZGMU. 2014.
19. Zabolotskikh V.V., Vasiliev A.V., Tereshchenko Yu.P. Synergetic effects under simultaneous influence of physical and chemical factors. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2016, vol.18; 5(2): 290-295.
20. Chen C.J., Dai Y.T., Sun Y.M., Lin Y.C., Juang Y.J. Evaluation of auditory fatigue in combined noise, heat and workload exposure. *Ind. Health*. 2007 Aug; 45.
21. Kivimäki M., Kawachi I. Work Stress as a Risk Factor for Cardiovascular Disease *Curr Cardiol Rep* 2015; 17(9): 630. <https://orcid.org/10.1007/s11886-015-0630-8>.
22. Gerr F., Fethke N.B., Anton D., Merlino L., Rosecrance J., Marcus M., Jones M.P. A prospective study of musculoskeletal outcomes among manufacturing workers: II. Effects of psychosocial stress and work organization factors. *Hum Factors*. 2014; 56(1): 178-90. <https://orcid.org/10.1177/0018720813487201>.
23. Golmohammadi R., Darvishi E. The combined effects of occupational exposure to noise and other risk factors - a systematic review *Noise Health*. 2019; 21 (101): 125-141. DOI: 10.4103/nah.NAH_4_18.

24. Telkova T.L. Occupational characteristics of work and cardiovascular diseases: the risk of development and problems of prevention. Clinical and epidemiological analysis. Sibirskij meditsinskiy zhurnal. 2012, Vol. 27; 1: 17-26.
25. Krajnak KM. Potential Contribution of Work-Related Psychosocial Stress to the Development of Cardiovascular Disease and Type II Diabetes: A Brief Review. Environ Health Insights. 2014; 8: 41-5. <https://orcid.org/10.4137/EHI.S15263>.

Поступила/Received: 15.07.2022

Принята в печать/Accepted: 30.08.2022