

Федеральное бюджетное учреждение науки  
Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны  
здоровья рабочих промышленных предприятий Федеральной службы по  
надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

# *Условия труда при эксплуатации алюминиевых электролизеров различной мощности*

А.А. Федорук, О.Ф. Рослый,  
В.Б. Гурвич, Н.А. Цепилов, Э.Г. Плотко



- **Электролизеры, работающие по технологии самообжигающегося анода**
  - с боковым токоподводом низкой мощности до 100 кА
  - с верхним токоподводом средней мощности на силу тока 100-165 кА

*С гигиенических позиций, одним из наиболее существенных недостатков является затруднение использования средств механизации и автоматизации процесса в силу конструкции ванн.*

- **Электролизеры, оснащенные предварительно обожженными анодами (ОА)**
  - средней и большой мощности на силу тока от 160 до 400 кА и более

*Возможна механизация и автоматизация технологических операций, сбор и очистка анодных газов производятся с большей эффективностью.*

## Основные факторы профессионального риска при электролизе алюминия :

- ✓ Металлосодержащая пыль сложного химического состава, содержащая т.н. малые примеси (хром, бериллий, литий и др.)
- ✓ Неорганические соединения фтора
- ✓ Вредные газы (SO<sub>2</sub>, NO, HF и др.)
- ✓ Канцерогенные соединения, в том числе ПАУ и 3,4 бенз(а)пирен
- ✓ Неблагоприятные микrokлиматические условия
- ✓ Шум, вибрация, электромагнитные поля
- ✓ Физическое и психоэмоциональное перенапряжение и др.

## Состояние воздуха рабочей зоны по приоритетным загрязнениям в зависимости от типа электролизеров

Фактор (хим.соединение)	Кратность превышения ПДК		
	Электролизеры с самообжигающимися анодами		Электролизеры с предварительно обожженными анодами
	с боковым токоподводом	с верхним токоподводом	
Фтористый водород	11,4	1,34-2,4	1,3-1,5
Возгоны каменноугольных смол и пеков	9-17,3	1,3-1,8	1,3-1,5
Бенз(а)пирен	50-152	21,4-26	0,6-1,4

**Концентрации гидрофторида и фторсолей в воздухе рабочей зоны при эксплуатации электролизеров различной мощности**  
**ПДК HF= 0,5 мг/м<sup>3</sup>; ПДК NaF= 1,0 мг/м<sup>3</sup>**

Операция		Самообжигающиеся аноды				Предварительно обожженные аноды			
		Мощность - 72,9 кА		Мощность - 95 кА*		Мощность - 165 кА		Мощность – 330 кА	
		М ±m	Выше ПДК (раз)	М ±m	Выше ПДК (раз)	М ±m	Выше ПДК (раз)	М ±m	Выше ПДК (раз)
Обработка ванн	HF	1,86±0,09	3,7	6,91±0,38	13,8	0,89±0,13	1,8	Автоматизация процесса	
	NaF	2,1±0,33	2,1	4,0±0,41	4	0,98±0,08	нет		
Выливка металла	HF	2,92±0,34	5,8	2,33±0,28	4,7	0,37±0,05	нет	0,29±0,05	нет
	NaF	1,85±0,18	1,9	1,57±0,12	1,6	0,19±0,07	нет	0,15±0,02	нет
Межоперационный период	HF	1,80±0,17	3,6	2,93±0,48	5,9	0,26±0,03	нет	0,12±0,02	нет
	NaF	0,55±0,15	нет	1,48±0,35	1,5	0,41±0,11	нет	0,12±0,01	нет
Комната отдыха	HF	0,80±0,12	1,6	1,30±0,13	2,6	0,36±0,04	нет	0,17±0,03	нет
	NaF	0,67±0,09	нет	0,26±0,05	нет	0,39±0,13	нет	0,16±0,04	нет
Класс условий труда	HF	3.3		3.4		3.1		2	
	NaF	3.1		3.2		2		2	

\*Применение фторированного глинозема

## Среднесменные концентрации гидрофторида и фторсолей на рабочем месте электролизника при эксплуатации электролизеров различной мощности

Тип и мощность электролизеров	Гидрофторид, HF, мг/м <sup>3</sup> ПДК= 0,1 мг/м <sup>3</sup>		Натрий фторид (по фтору), HF, мг/м <sup>3</sup> ПДК= 0,2 мг/м <sup>3</sup>	
	Концентрация	Класс условий труда	Концентрация	Класс условий труда
Электролизеры СА; 72,9 кА	1,43-2,14	3.3-3.4	1,23-2,1	3.2-3.3
Электролизеры СА; 95 кА*	3,92-5,1	4	2,47-3,11	3.3-3.4
Электролизеры СА; 330 кА	0,18-0,21	3.1	0,18-0,27	2-3.1

\*Применение фторированного глинозема

## Метеорологические условия в электролизных корпусах крайне **неблагоприятны**.

- Воздействие теплового облучения интенсивностью от 300 до 1200 Вт/м<sup>2</sup>
- В теплый период года микроклимат электролизных цехов характеризуется высокой температурой воздуха, которая может достигать 40-45<sup>0</sup>С
- В холодный период года микроклимат электролизных цехов характеризуется низкой температурой воздуха и ограждений зданий, а также повышенной подвижностью воздуха в рабочих проходах корпусов.
- После прекращения очередной операции рабочий подвергается воздействию резко охлаждающего микроклимата в проходах, перепад температуры воздуха при этом достигает 28-30<sup>0</sup>С.

*Переход от состояния перегревания к охлаждению повторяется неоднократно за рабочую смену и является крайне неблагоприятным фактором в электролизных цехах, в сочетании со значительным физическим напряжением резко ухудшающим тепловое самочувствие рабочих.*

Технологическое оборудование и операции по обслуживанию процесса электролиза алюминия связаны с генерированием и воздействием на работающих шума, локальной и общей вибрации.

**Наиболее неблагоприятные условия труда** формируются в цехах с самообжигающимися анодами и низким уровнем автоматизации производства, когда условия труда по указанным факторам риска соответствуют **классам 3.2-3.4.**

*Технологический процесс включает различный набор операций: загрузку анодной массы, перестановку анодных штырей, перетяжку ванн, поточную обработку электролизеров и т.п., для выполнения которых используют как самоходные машины, так и пневматический инструмент на основе отбойных молотков, шлифовальные машинки различных типов, генерирующие шум, общую и локальную вибрацию.*

**При внедрении технологии ОА** эквивалентные уровни шума, локальной и общей вибрации на рабочих местах превышали соответствующие ПДУ, условия труда по указанным факторам риска соответствуют **классам 3.1-3.2.**



- Большая часть трудовых операций требует значительных физических усилий, установлена высокая степень затрат времени на выполнение трудоемких основных и вспомогательных операций – от 50,0 до 70,0%.

- Механизация процесса не всегда приводила к снижению физических нагрузок.

*Например:* внедрение для поточной обработки ванн напольно-рельсовых машин проведенное одновременно сокращением численности рабочих привело к тому, что занятость электролизников в течении смены, в том числе ручными операциями, не только не сократилось, но даже возросла.

*В целом по физиологическим и эргономическим показателям тяжесть работы электролизников, обслуживающих электролизеры как с самообжигающимися, так и с предварительно обожженными анодами соответствует **3 классу 1-2 степени вредности**.*

**Разовые концентрации фтористых соединений и алюминия в воздухе  
рабочей зоны опытного участка,  $M \pm m$**

Операция	Гидрофторид, HF, мг/м <sup>3</sup> ПДК= 0,5 мг/м <sup>3</sup>	Фторсоли (по натрию фториду), мг/м <sup>3</sup> ПДК= 1,0 мг/м <sup>3</sup>	Диалюминий триоксид ПДК= 5,0 мг/м <sup>3</sup>	Сера диоксид ПДК= 10,0 мг/м <sup>3</sup>
<b>Замена анода</b>	0,35±0,046	0,49±0,067	1,48±0,138	0,32±0,025
<b>Выливка металла.</b> Рабочая зона электролизника	0,29±0,048	0,15±0,018	1,00±0,138	0,44±0,060
<b>Межоперационный период</b>				
Ревизия ванн при ликвидации выгорания анодного массива	0,24±0,026	0,42±0,13	0,49±0,05	-
Рабочая зона между электролизными ваннами, перетяжка анодной рамы	0,12±0,015	0,12±0,013	0,32±0,025	0,21±0,042
Рабочее место крановщика (кабина крана)	0,17±0,031	0,045±0,008	0,15±0,02	0,02±0,01

## Среднесменные концентрации химических соединений на рабочих местах основных профессий опытного участка

Профессия	Уровни среднесменных концентраций мг/м <sup>3</sup> (для бенз(а)пирена – мкг/м <sup>3</sup> )				
	Гидрофторид, ПДК <sub>сс</sub> =0,1мг/м <sup>3</sup>	Фторсоли (по натрий фториду) ПДК <sub>сс</sub> =0,2мг/м <sup>3</sup>	ДиАлюминий триоксид, ПДК <sub>сс</sub> =6 мг/м <sup>3</sup>	Возгоны каменноугольных смол и пеков при среднем содержании в них бенз(а)пирена менее 0,075%, ПДК <sub>сс</sub> =0,2мкг/м <sup>3</sup>	Бенз(а)пирен, ПДК <sub>сс</sub> =0,15мкг/м <sup>3</sup>
<b>Электролизник расплавленных солей</b>					
М±m	<b>0,190±0,006</b>	<b>0,220±0,014</b>	0,673±0,009	0,076±0,003	0,059±0,003
<b>Рамщик</b>					
М±m	<b>0,128±0,006</b>	0,119±0,008	0,399±0,014	0,049±0,002	0,076±0,009
<b>Крановщик</b>					
М±m	<b>0,157±0,008</b>	0,052±0,003	0,216±0,015	0,024±0,001	0,022±0,002

## Вероятность заболевания флюорозом в зависимости от полученной дозы фтора (индивидуальной профессиональной фтористой нагрузки)

Модель зависимости между «фтористой нагрузкой», т.е. дозой фтора, полученной работником при хроническом профессиональном воздействии и эффектом, интегрально выраженном как развитие профессиональной хронической фтористой интоксикации (ПХФИ).

- Вероятность развития флюороза приближается к нулю или очень низкая при фтористой нагрузке  $< 29$  грамм
- Впервые диагностируемый флюороз развивается в диапазоне фтористой нагрузки 29-79 грамм
- Вероятность развития флюороза составляет 1 (100%) при фтористой нагрузке 100гр и более

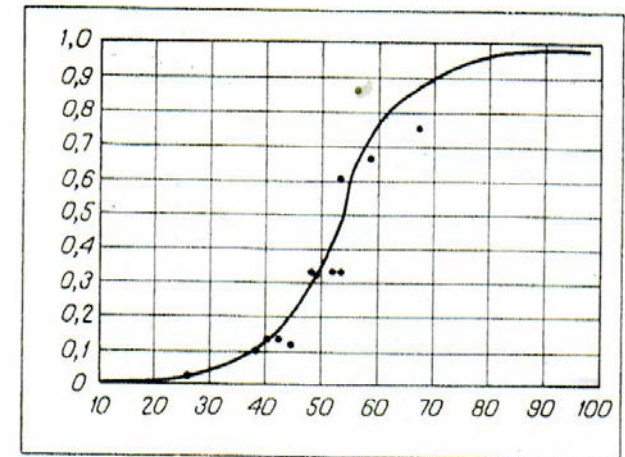


Рис. 1. Вероятность заболевания флюорозом в зависимости от полученной дозы фтора. По оси ординат — вероятность заболевания флюорозом; по оси абсцисс — доза фтора (в г).

- **Индивидуальная профессиональная фтористая нагрузка (ИПФН)** на организм работника – это реальная или прогностическая величина экспозиционной дозы фтора, которую работник получает за весь период фактического (или предполагаемого) профессионального контакта с ним, при расчете ИПФН не принималось во внимание непрофессиональное поступление фтора в организм.

Доза фтористой нагрузки рассчитывалась по формуле:

$$D = (КНФ + КФС)_1 \times Q_1 + \dots + (КНФ + КФС)_n \times Q_n, \quad \text{где:}$$

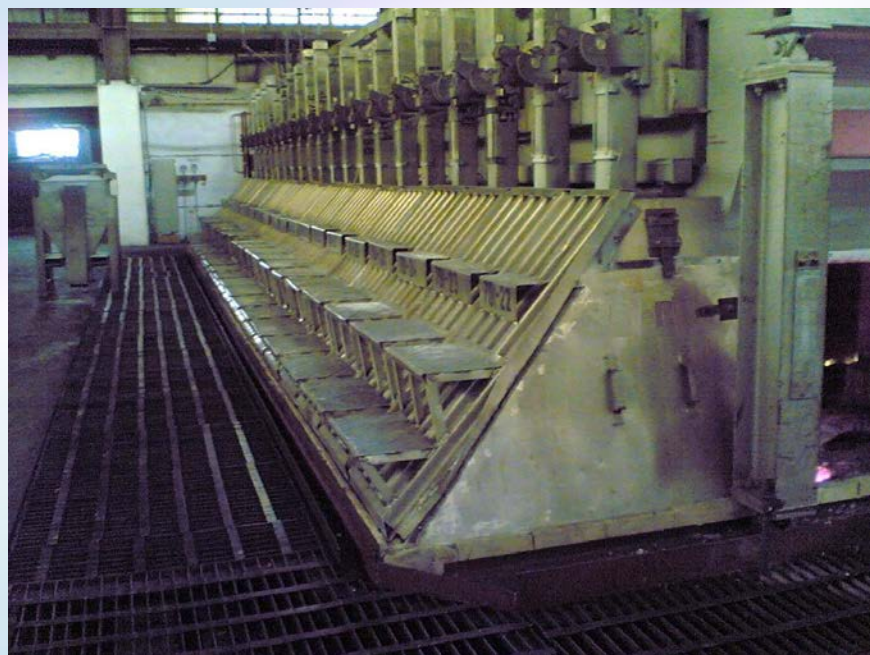
$(КНФ + КФС)_n$  - фактические пооперационные концентрации гидрофторида (по фтору) и фторсолей (по фтору), мг/м<sup>3</sup>;

$Q_n$  - объем легочной вентиляции, характерный для операции, м<sup>3</sup>.

При эксплуатации электролизеров СА, в корпусах, где использовали чистый глинозем, при имеющихся уровнях загрязнения воздуха рабочей зоны, профессиональный флюороз может развиваться у особо чувствительных рабочих (группа риска) при стаже 6,4 лет и более, наиболее уязвимой (группой повышенного риска), являются работающие со стажем 9,7 лет и более.



- Безопасный стаж работы при обслуживании электролизеров мощностью 330кА - 30 лет и более
- Безопасный стаж работы при соблюдении ПДК может длиться 50 лет и более.



## Интегральная оценка условий труда рабочих основных профессий при эксплуатации электролизеров мощностью 330кА (опытный участок)

Профессия	Фактор, класс условий труда (Р. 2.2.2006-05)										Интегральная оценка условий труда
	Химический				Физические				ТиНТП		
	Гидрофторид	Натрий фторид	Смолистые вещества	Бенз(а)пирен	Шум	Вибрация	Микроклимат	Электромагнитные поля (ПМП)	Тяжесть труда	Напряженность труда	
Электролизник расплавленных солей	3.1	3.1	2	2	2	2	3.2	3.1	3.1	2	<b>3.2</b>
Рамщик	3.1	2	2	2	2	2	3.1	3.2	3.1	2	<b>3.2</b>
Крановщик	3.1	2	2	2	2	2	3.1	2	2	2	<b>3.1</b>



# Исследования проведены на заводах с электролизерами оснащенными



*- самообжигающимися анодами и боковым токоподводом (САБТ) мощностью 72,9, 79,8, 95 кА. Четырех рядное расположение электролизеров.*

- предварительно обожженными анодами и верхним токоподводом (ОАВТ) мощностью 130, 165кА. Двух рядное расположение электролизеров.*



- предварительно обожженными анодами и верхним токоподводом (ОАВТ) мощностью 260 и 330 кА, расположенные в один ряд поперек продольной оси корпуса, подвод тока осуществляется через несколько токоподводящих шин, подходящих к анодной раме с одной из продольных сторон электролизера.*



**Уровни постоянного магнитного поля в рабочей зоне  
при эксплуатации электролизеров различной мощности, мТл**

Тип, сила тока электролизеров	Среднее значение	Интервал	Мода	Количество замеров, превышающих 10мТл,
<i>Электролизеры с боковым токоподводом и самообжигающимися анодами</i>				
72,9 кА	8,7 <sup>o</sup>	4,4-14,2	8,2	20,8
79,8 кА	8,5 <sup>^</sup>	5,3-13,6	7,5	23,5
95 кА	10,5 <sup>#</sup>	5,5-15,7	9,1	45,9
<i>Электролизеры с верхним токоподводом и предварительно обожженными анодами</i>				
130 кА	7,9 <sup>#</sup>	4,3-13,0	10,0	7,7
165 кА	11,0 <sup>o^</sup>	4,4-16,6	10,2	56,3
260 кА	12,5 <sup>o^#</sup>	4,2-20,7	14,0	71,4
330 кА	13,1 <sup>o^#</sup>	3,9-29,5	11,1	80

**Примечание**

o- при сравнении ванн силой тока 72,9 и 165; 260; 330 кА (P<0,001).

^ - при сравнении ванн силой тока 79,8 и 165; 260; 330 кА (P<0,001).

# - при сравнении ванн силой тока 95 и 130; 260 (P<0,01);

95 и 330 кА (P<0,001).

- При обслуживании электролизеров повышенной мощности (330кА) рабочему необходимо выполнять ряд операций (замена анода, перетяжка анодной рамы) когда возможно его кратковременное нахождение в непосредственной близости с токоведущими шинами (анодной шиной) или находится рядом с гибкой частью шиноподвода (часть токоведущей шины, свободной от защитной ошиновки - «гибкий пакет»). В этих случаях уровни постоянного магнитного поля превышают предельно-допустимые национальный нормативы для 1-часового (20 мТл) и 10-минутного воздействия (30 мТл) воздействия.

**Уровни постоянного магнитного поля в рабочей зоне при обработке электролизеров силой тока 330 мТл**

Показатели	Рабочая зона				
	Сторона с токоподводом	Между ваннами	Стороны свободная от токоподвода	Рядом с токоподводящей шиной	Рядом с гибкой частью токоподвода
Средняя	13.1	10.8	9.2	21.0	50.9
Интервал	6.2-20.6	3.9-17.1	5.3-11.5	15.4-29.5	34.5-63

Магнитные поля как неблагоприятный фактор производственной среды стали объектом исследования еще в начале 20-х годов прошлого века.

Имеются данные, свидетельствующие о неблагоприятном влиянии постоянного магнитного поля (ПМП) на организм экспериментальных животных и человека.

В публикациях отмечается наличие на рабочих местах постоянного магнитного поля, генерируемого металлургическим оборудованием, но уровни его, как правило, не указываются, развитие тех или иных патологических сдвигов у работающих, относят, главным образом, за счет токсических эффектов химических соединений.

Изучению влияния постоянных магнитных полей на организм уделялось гораздо меньше внимания, тем более, сочетанному действию двух этих факторов, характерных для электролиза алюминия.

## Результаты экспериментов по оценке сочетанного действия фтористых соединений и постоянного магнитного поля:

- сочетанное действие фтористого водорода и постоянного магнитного поля на уровне 20 мТл, приводило к уменьшению отложения фтора в скелете экспериментальных животных (крыс), не изменялась структура соединительного каркаса мягких тканей;
- при воздействии поля на уровне 90 мТл токсический эффект фтора увеличивался, в частности, снижалась механическая прочность бедра, повышалась жесткость сухожилий, снижалось выделение фтора с мочой, снижение его депонирования в скелете за счет перераспределения в мягких тканях и другие эффекты.

- Сочетанное действие фтора и ПМП на уровне 25мТл
- Статистически обработано более 50 функциональных, биохимических и гистологических показателей.
- Четыре основных класса «сочетанного» действия ПМП и фторида:
  - (1) преимущественно однофакторное;
  - (2) однонаправленное аддитивное;
  - (3) синергизм (однонаправленное супераддитивное);
  - (4) антагонизм.

*ИМП «Изучение характера сочетанного действия фтора и постоянного магнитного поля».*

- Однонаправленное аддитивное и однонаправленное супераддитивное действия в совокупности включали в себя ~ 25% показателей, однако, ***высокая биологическая значимость некоторых из них*** (фрагментация ДНК, абсолютное число гранулоцитов и моноцитов крови, число остеоцитов в компактной кости, активность щелочной фосфатазы в сыворотке крови) ***позволяет считать изученное сочетание факторов (фтор и ПМП) представляющим в целом более высокий риск для здоровья, чем каждый из них в отдельности.***
- Этот практический аспект исследования важен для рабочих в электролитическом производстве алюминия, которые подвергаются хроническому воздействию фторидов в сочетании с ПМП.

## Заключение

- Современная технология электролиза алюминия не может свести риски до нулевых или пренебрежимо малых уровней, помимо этого возможно изменение соотношения факторов профессионального риска по степени их приоритетности, что требует дальнейшей оценки профессионального риска по гигиеническим и медико-биологическим критериям, а также разработка Программ по управлению профессиональными рисками с участием врачей по гигиене (медицине) труда, врачей профпатологов, а также технических специалистов.



## Приоритетные направления мероприятий по управлению профессиональными рисками:

- Разработка новых технологий;
- Мониторинг рабочей среды и состояния здоровья работающих;
- Оценка профессионального риска с учетом медико-биологических показателей;
- Подбор средств индивидуальной защиты;
- Разработка программ коллективного и индивидуального медицинского страхования работающих;
- Разработка комплексов медико-профилактических и реабилитационных мероприятий;
- Внедрение контрактной системы приема на работу;
- Поиск и внедрение новых оптимальных санитарно-технических решений, осуществление контроля эффективности применяемых систем аспирации;
- Санитарно-гигиеническое обучение работодателей и работающих.

***Благодарю за внимание!***