

## **6 ЭКОЛОГИЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

### **6.1 Введение**

В данной части диплома, посвященной промышленной экологии и безопасности, анализируются вредные и опасные факторы, возникающие в процессе изготовления солнечных батарей космического аппарата.

Солнечная батарея, имеющая прямоугольную форму, включает в свой состав металлический каркас, сотовый металлический наполнитель, обклеенный с торцов углепластиковыми пластинами (трехслойная конструкция), вкладыши, полупроводниковые ФЭП.

В процессе изготовления СБ помимо сверления, токарной обработки и фрезерования присутствуют операции по изготовлению препрега, обезжириванию поверхностей деталей, а также термическому склеиванию.

Рассматриваются вредные и опасные факторы, возникающие при данных операциях.

### **6.2 Опасные и вредные производственные факторы**

#### **6.2.1 Воздух рабочей зоны**

К одним из требований охраны труда относится обеспечение требуемой влажности, температуры, скорости воздуха в рабочей зоне. Требуемые параметры нормируются по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

В процессе обезжиривания, механообработки, очистки поверхностей в пескоструйных машинах и термического склеивания в воздух выделяются вредные вещества, компоненты которых могут попасть на кожу или в организм человека.

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» устанавливает предельно допустимые концентрации ПДК  $K_{ПДК}$  ( $мг/м^3$ ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Нормы содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Нормы содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Номер вещества	Наименование вещества	Величина ПДК мг/м <sup>3</sup>	Преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства	Класс Опасности	Особенности действия на организм
	Нефрас С 150/200 (в пересчете на С)	300/100	п	4	

А – вещества, способные вызывать аллергические заболевания в производственных условиях;

"п" – пары и (или) газы;

"п + а" - смесь паров и аэрозоля;

## 6.2.2 Микроклимат в производственных помещениях

Микроклимат на рабочих местах в производственных помещениях характеризуется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ );
- 2) температура поверхностей ограждающих конструкций (стены, потолок, пол), устройств, а также технологического оборудования или ограждающих его устройств;
- 3) относительная влажность воздуха  $\varphi$  (%);
- 4) скорость движения воздуха на рабочем месте  $V$  (м/с);
- 5) интенсивность теплового излучения.

Данные параметры необходимы для составления теплового баланса между организмом человека и окружающей средой (цеха). В свою очередь, величина тепловыделения  $Q$  организма человека зависит от физического напряжения и составляет от 85 (в состоянии покоя) до 500 Вт (тяжелая работа).

Категории работ по уровню энерготрат организма установлены в СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» и представлены в таблице 6.2

Таблица 6.2 – Категории работ по уровню энерготрат организма

Категории работ	Энерготраты,Вт	Характер работ, примеры видов работ и профессий
1	2	3
Ia	до 139	Ряд профессий на предприятиях точного приборо- и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления
Категории работ	Энерготраты,Вт	Характер работ, примеры видов работ и профессий

I б	140 - 174	Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением
II а	175 - 232	Работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения
II б	233 - 290	Работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением
III	более 290	Работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий

Нормы параметров микроклимата рабочей зоны установлены в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и представлены в таблицах 6.3 – 6.6.

Таблица 6.3 – Температура воздуха

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин
Холодный	II а	17,0 – 18,9	21,1 – 23,0
	II б	18,0 – 19,9	22,1 – 27,0

Таблица 6.4 – Температура поверхностей

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура поверхностей, °С
й	Холодные	16,0 - 24,0
	Теплый	17,0 - 28,0

Таблица 6.5 – Относительная влажность воздуха

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Относительная влажность воздуха, %
й	Холодные	15 - 75
	Теплый	15 - 75

Таблица 6.6 – Скорость движения воздуха

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Скорость движения воздуха, м/с	
		для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
й	Холодные	0,1	0,3
	Теплый	0,1	0,4

При температуре воздуха на рабочих местах 25 °С и выше максимально допустимые величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы:

70% - при температуре воздуха 25 °С;

65% - при температуре воздуха 26 °С;

60% - при температуре воздуха 27 °С;

55% - при температуре воздуха 28 °С.

При температуре воздуха 26 - 28 °С скорость движения воздуха для теплого периода года должна соответствовать диапазонам:

0,2 - 0,4 м/с - для категории работ Па;

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников, нагретых до температуры не более 600 °С представлены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Интенсивность теплового излучения.

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более
50 и более	35
25 - 50	70
не более 25	100

Для нормализации микроклимата в помещении применяется комбинированная система вентиляции:

- общая приточно-вытяжная;
- местная, для вытяжки вредных веществ;

Для предотвращения загрязнения атмосферы в вентиляционных каналах устанавливаются фильтры для очистки от вредных примесей воздуха, откачиваемого из рабочей зоны.

### 6.2.3 Шум

Шум: Звуковые колебания в диапазоне слышимых частот, способные оказать вредное воздействие на безопасность и здоровье работника.

Источниками шума в цехе является: производственное оборудование, станки, вентиляторы, испытательные стенды, и т. д. Шум оказывает негативное влияние на рабочий персонал, находящийся в помещении цеха.

Гигиеническими нормативами, используемыми для оценки уровней воздействия шума на рабочих местах, являются:

- эквивалентный уровень звука ( $L_{pAeqT}$ , дБА), уровень воздействующий на работающего за рабочую смену (измеренный или рассчитанный относительно 8 ч рабочей смены);

- максимальные уровни звука А, измеренные с временными коррекциями S и I ( $L_{pA max}$ ) - наибольшая величина уровня звука, измеренная на заданном интервале времени со стандартной временной коррекцией;

- пиковый скорректированный по С уровень звука ( $L_{pC peak}$ ), дБС - С - взвешенное наибольшее значение за время измерений.

Допустимые уровни шума приведены в СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и представлены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Шум. Общие требования безопасности

Нормативны м эквивалентным уровнем звука ( $L_{pAeqT}$ ), дБА	Максимальными уровнями звука А, измеренными с временными коррекциями S и I ( $L_{pA max}$ ), дБА		Пиковым скорректированным по С уровнем звука ( $L_{pC peak}$ ), дБС
	110 дБА	125 дБА	
80 дБА	110 дБА	125 дБА	137 дБС

Допустимые уровни шума приведены в ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности» и представлены в таблице 6.7.

Таблица 6.9 – Шум. Общие требования безопасности

Наименование	Среднегеометрические частоты активных полос, Гц								Эквив. уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звукового давления, дБ								
Постоянные рабочие места в производственных помещениях и на территории предприятий	94	87	82	78	75	73	71	70	80

Для уменьшения шума применяются следующие методы:

- звукоизоляция (кожухи для закрытия наиболее шумных машин и механизмов, например двигателей, реактивные глушители шума отражают энергию обратно к источнику, предназначены для систем вентиляции);
- звукопоглощение (облицовки для поглощения звука в помещении, например режущие кромки, абсорбционные глушители поглощают поступившую в них звуковую энергию).

#### 6.2.4 Освещение

К нормативным показателям световой среды относятся:

- средняя освещенность на рабочей поверхности - отношение светового потока, падающего на элемент поверхности, к площади этого элемента, лк.
- коэффициент пульсации освещенности - критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока источников света, Кп, %;
- объединенный показатель дискомфорта критерий оценки дискомфортной блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркостей в поле зрения.
- яркость освещения - отношение силы света в данном направлении к площади проекции излучающей поверхности на плоскость, перпендикулярную к данному направлению.
- Естественное и искусственное освещение производственных помещений должно соответствовать нормам и требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
- Разряды зрительных работ при больших расстояниях от различаемых объектов до глаз работающего указаны в таблице 6.10.

Таблица 6.10 – Разряды зрительных работ

Разряд зрительной работы	Пределы отношения $d/l$
I	менее 0,0003
II	от 0,0003 до 0,0006
III	свыше 0,0006 до 0,001
IV	свыше 0,001 до 0,002
V	свыше 0,002 до 0,01
VI	свыше 0,01
<p><math>d</math> - минимальный размер объекта различения;</p> <p><math>l</math> - расстояние от этого объекта до глаз работающего.</p>	

Работа с металлорежущими станками имеет II разряд зрительной работы.

Нормативные показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений и сооружений объектов общепромышленного назначения указаны в СП «52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение» и представлены в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Нормативные показатели освещения

Цех, участок, рабочее оборудование	Искусственное освещение				КЕО, $e_n$ , %
	Освещенность рабочих поверхностей, лк		Объединенный показатель дискомфорта UGR, не более	Коэффициент пульсации освещенности, %, не более	
Металлорежущие станки: внутришлифовальные, круглошлифовальные, плоскошлифовальные, поперечно-строгальные, токарно-винтовые, токарно-карусельные, токарно-револьверные	при комбинированном освещении	при общем освещении			19
	1500	-			

В действующих нормах проектирования производственного освещения задаются как количественные (величины минимальной освещенности), так и качественные характеристики (показатель ослепленности и дискомфорта, глубины пульсации освещенности) искусственного освещения. Для исключения частой переадаптации зрения из-за неравномерной освещенности в помещении при системе комбинирования освещения необходимо, чтобы светильники общего освещения создавали не менее 10% нормированной освещенности. При освещении производственных помещений газоразрядными лампами, питаемыми промышленным током промышленной частоты 50 Гц, следует ограничить глубину пульсации освещенности. Допустимые коэффициенты пульсации в зависимости от системы освещения и характера выполняемой работы не должны превышать 10 – 20%. Высота подвеса светильников над уровнем пола 2.5 – 4 м.

В цехе применяется комбинированная система освещения: общее с использованием газоразрядных (люминесцентных) ламп и местное - лампы накаливания. В качестве люминесцентных ламп используются лампы ЛХБ-40 со светильником ПВЛМ, а в качестве ламп накаливания – лампы НБ-60. Также предусматривается:

- Аварийное освещение, при котором наименьшая освещённость поверхностей, требующих обслуживания при аварийном режиме, должна составлять 5% освещённости, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения (светильники типа ВЗГ);

- Эвакуационное освещение, при котором предусматривается для эвакуации людей из помещения в местах, опасных для прохода людей, на лестничных клетках, вдоль основных проходов (светильники типа ВЗГ).

### **6.2.5 Защита от источников тепловых излучений**

В процессе производства солнечных батарей рабочие могут подвергаться тепловому излучению. Это происходит во время термообработки сотового заполнителя, формования несущего слоя в вакуумном автоклаве, а также во время термического склеивания сборки в термовакуумной печи.

Под влиянием облучения в организме происходят биохимические сдвиги, наступают нарушения деятельности сердечно-сосудистой и нервной систем. Лучистый поток теплоты, кроме непосредственного воздействия на рабочих, нагревает пол, стены, перекрытия, оборудование, в результате чего температура воздуха внутри помещения повышается, что также ухудшает условия работы.

Одним из способов защиты от лучистого потока является теплоизоляция. Теплоизоляция – эффективное мероприятие не только для уменьшения интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей, но также для предотвращения ожогов при прикосновении к этим поверхностям.

По действующим санитарным нормам СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» температура нагретых поверхностей оборудования и ограждений на рабочих местах не должна превышать 45°C. Интенсивность теплового излучения от нагреваемых поверхностей, оборудования, осветительных приборов при обеспечении показателей микроклимата не должна превышать:

Таблица 6.12 – Интенсивность излучения от нагреваемых поверхностей

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более
50 и более	35
25 - 50	70
не более 25	100

Для теплоизоляции применяют специальные бетоны и кирпич, минеральную и стеклянную вату, асбест, войлок и т.д. Наиболее эффективным способом защиты от теплового излучения является экранирование. Экраны применяют как для экранирования источников излучения, так и для защиты рабочих мест от воздействия лучистого потока теплоты.

По принципу действия экраны подразделяются на теплоотражающие, теплопоглощающие, теплоотводящие. Это деление представляется весьма условным, так как любой экран обладает способностью отражать, поглощать или отводить тепло. В зависимости от возможности наблюдения за рабочим процессом экраны можно разделить на прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные.

Материалом для теплоотражающих экранов служат листовой алюминий, белая жель, алюминиевая техническая фольга укрепляемые на несущем материале (картоне, сетке и т.д.). В теплопоглощающих экранах применяют материалы с большим сопротивлением теплопередаче (асбестовые щиты на металлической сетке или листе, огнеупорный кирпич и т.д.), вследствие чего температура наружной поверхности резко уменьшается.

Теплоотводящие экраны представляют собой сварные или литые конструкции, охлаждаемые водой. Они могут применяться при любых интенсивностях теплового излучения.

## **6.2.6 Пожарная безопасность**

Процесс производства углепластиковых панелей предполагает использование мощных нагревательных приборов при отверждении в термопечи, поэтому цех по производству углепластиковых панелей отличается повышенной пожарной опасностью.

Для пожарной профилактики предлагаются следующие меры:

Помещение цеха оборудовано системами противопожарной защиты и предотвращения пожара, согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования»:

В помещении предусмотрены тепловые датчики, связанные пожарной сигнализацией, а также с системой автоматического обнаружения и тушения пожаров;

а) Установлены первичные средства пожаротушения (ящики с песком, огнетушители ОХВП-Ю, ОУ80);

б) Установлены пожарные краны и гидранты.

При проектировании зданий предусмотрена возможность безопасной эвакуации персонала:

в) Аварийное освещение проходов;

г) Применение запасных проходов;

д) Установка двух эвакуационных выходов.

## **6.2.7 Применение средств индивидуальной защиты**

При сборке отдельные детали и узлы подвергаются промывке нефрасом. При этом пары попадают в воздух цеха. Предельная допустимая концентрация паров нефраса в воздухе согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» не должна превышать 100 мг/м<sup>3</sup>. Характерным воздействием паров нефраса на человека является раздражение и заболевание дыхательных путей и глаз.

Для защиты от этих вредных факторов можно порекомендовать применение средств индивидуальной защиты – респираторов, а также использование местной вытяжной вентиляции в виде отсоса вредных веществ из рабочей зоны при выполнении обезжиривания поверхностей, а также при открытии вакуумной камеры для загрузки и выемки деталей.

### **6.3 Установка вентиляции**

В процессе производства солнечных батарей происходит выделение токсичных веществ. Это происходит во время проведения операции склеивания углепластиковых обшивок на монтажном столе, а также во время проведения термического склеивания сборки. Помимо нефраса, необходимого для обезжиривания склеиваемых поверхностей, токсичными также являются выделения клеевой пленки, необходимой для проведения операции термического склеивания при 170-180°С.

Для создания требуемых условий воздушной среды в ограниченной зоне производственного помещения, применяются различные виды местной вентиляции.

При необходимости улавливания и удаления вредных веществ непосредственно у источника их образования, используют местную вытяжную вентиляцию. Устройства местной вытяжной вентиляции делают в виде укрытий или местных отсосов. Укрытия с отсосом характерны тем, что источник загрязнения находится внутри них. Они могут быть выполнены как укрытия – кожухи, полностью или частично заключающие оборудование. Внутри укрытий создается разрежение, в результате чего вредные вещества не могут попасть в воздух помещения. Полное укрытие машин и механизмов, выделяющих вредные вещества, - наиболее совершенный и эффективный способ предотвращения их попадания в воздух помещения.

Для локализации вредных веществ, поднимающихся вверх, а именно при тепло- и влаговыведениях любых вредных веществ (исключая очень токсичные) с тепловыделениями, создающими устойчивый восходящий поток,

но при отсутствии постоянного рабочего места у источника выделения вредных веществ применяют вытяжные зонты. Зонты делаются открытыми со всех сторон (без свесов) и частично открытыми – с одной, двух или трех сторон со свесами. В последнем случае конструкция зонта является более совершенной. По форме сечения зонты бывают прямоугольными или круглыми, стационарными или поворотными. Для улавливания газов у проемов печей устанавливают зонты – козырьки. Когда устройство стационарных укрытий невозможно, делают поворотные зонты, которые отводят в сторону во время загрузки оборудования.

Для предотвращения попадания вредных веществ, образующихся в результате изготовления солнечных батарей, в атмосферу необходимо принять меры по очистке вытяжного вентиляционного воздуха. Это можно достигнуть путем включения в состав системы вентиляции термического нейтрализатора.

Метод термического дожигания основан на способности горючих токсичных компонентов (газы, пары, сильно пахнущие вещества) окисляться до менее токсичных, при наличии свободного кислорода и высокой температуры. Различают три схемы термической нейтрализации газовых выбросов: прямое сжигание в пламени, термическое окисление и каталитическое сжигание.

Прямое сжигание применяют для нейтрализации смесей газов и паров, содержащих в избытке окислитель или горючее, то есть тогда, когда отходящие газы обеспечивают подвод значительной части энергии, необходимой для осуществления процесса. Из экономических соображений, этот вклад должен составлять не менее 50% общей теплоты сгорания. Каталитический метод используют для превращения токсичных компонентов промышленных выбросов в вещества безвредные или менее вредные для окружающей среды, путем дожигания газов в специальных устройствах, в присутствии катализатора.

Термическое окисление применяют либо когда отходящие газы имеют высокую температуру, но в них нет достаточного количества кислорода, либо

когда концентрация горючих примесей настолько низка, что они не обеспечивают подвод теплоты, необходимой для поддержания пламени.

В производственных помещениях, в которых выделяются одновременно вредные газы и теплоты или только вредные газы, кроме местных отсосов нужно обязательно предусмотреть общеобменную вытяжку из верхней или нижней зоны помещения. Это связано с тем, что даже при хорошей работе местных отсосов возможны прорывы вредных веществ в воздух помещения. При проведении сборки органопластикового баллона применяются комплектующие, прошедшие пескоструйную обработку. В ходе выполнения обработки в пескоструйной машине происходит выделение значительного количества пыли и других вредных веществ. Для недопущения загрязнения воздушной среды, в подобных случаях необходимо применять специальные кабины или камеры. Кабины и камеры представляют собой емкости определенного объема, внутри которых производятся работы, связанные с выделением вредных веществ. Расчетное количество удаляемого воздуха определяется в зависимости от кратности воздухообмена, которая в зависимости от объема камеры составляет  $30 \div 100$ .

#### **6.4 Расчет вытяжного зонта**

В процессе изготовления солнечной батареи космического аппарата применяется операция термического склеивания, при которой сборка подвергается нагреву в термовакуумной печи при  $170-180^{\circ}\text{C}$  в течении нескольких часов, а затем охлаждается до  $40^{\circ}\text{C}$ . Далее конструкция охлаждается на открытом воздухе.

Створка солнечной батареи имеет размеры:

Длина  $a = 3000 \text{ мм}$ ;

Ширина  $b = 2800 \text{ мм}$ ;

Габариты источника загрязнения –  $3000 \times 2800$ ;

Площадь источника загрязнения по формуле:

$$F = a \cdot b = 3000 \cdot 2800 \text{ мм}^2 = 8400000 \text{ мм}^2 = 8.4 \text{ м}^2; (6.1)$$

Расстояние от источника загрязнений до нижнего приёмного отверстия зонта определяется из следующего соотношения:

$$h \leq 1.5 \sqrt{F} \approx 4348 \text{ мм}^2; (6.2)$$

примем  $h = 2000 \text{ мм}^2$ ;

Размеры зонта:

$$A = a + 0.8 \cdot h = 4600 \text{ мм};$$

$$B = b + 0.8 \cdot h = 4400 \text{ мм};$$

Скорость воздуха в приемном сечении зонта:  $V = 0.6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

Температура поверхности источника загрязнений:

$$t_n = 40 \text{ C};$$

Температура окружающей среды:

$$t_g = 20 \text{ C};$$

Коэффициент теплоотдачи определяется по формуле:

$$a_k = 3.26 \cdot \sqrt[4]{t_n - t_g} = 6.894 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}; (6.3)$$

Теплоотдача конвекцией с нагретой поверхности:

$$Q = a_k \cdot F (t_n - t_g) = 1158 \text{ Дж}; (6.4)$$

Объем воздуха в тепловой струе, поднимающейся над источником загрязнений:

$$L = 2340 \cdot \sqrt[3]{Q \cdot F^2 \cdot h} = 8152 \text{ м}^3; (6.5)$$

Диаметр воздуховода  $d_0$ , соединяющего зонт с вентиляционной сетью, определяется из условия скорости воздуха в нем  $V = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , по следующей зависимости:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot L}{3600 \cdot \pi \cdot V_0}} = 760 \text{ мм}; (6.6)$$

## 6.5 Вывод к разделу

В данном разделе рассмотрено производство солнечной батареи (СБ), выбрано рабочее место, определены все негативные факторы по отношению к работнику в производственной среде, регламентированные требованиями к

безопасности. Был произведен комплексный анализ опасных и вредных факторов разрабатываемого технологического процесса изготовления СБ и способы снижения их воздействия (пожарная безопасность, освещение, микроклимат, вентиляция). Описана установка отвода вредных выделений и произведен ее расчет.