

ПРОБЛЕМЫ УСТАНОВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ НОРМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧИСТОТЫ ПРИ СОЗДАНИИ АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Круглов И.А., аспирант, ИПТИП, ФГБУ «МИРЭА – Российский технологический университет», руководитель направления проектного офиса, АО «НПО «Техномаш им. С.А. Афанасьева», г. Москва

Недостаточное обеспечение промышленной чистоты приводило к авариям как авиационной, так и ракетно-космической техники во все времена. В статье приведены примеры аварийных пусков ракет-носителей по причине нарушений требований промышленной чистоты. Также рассмотрена ситуация установления нерациональных норм промышленной чистоты в сборочных цехах и монтажно-испытательных комплексах на примере двух предприятий ракетно-космической промышленности при производстве идентичной ракетно-космической техники, которая актуальна в настоящее время. Выдвинуты гипотезы существующих отличий при установлении различных норм промышленной чистоты на разных предприятиях. Часть гипотез опровергнута, одна нуждается в более детальной проработке. В заключении даны рекомендации по улучшению деятельности, связанной с установлением оптимальных норм промышленной чистоты при создании авиационно-космической техники, которые позволяют осуществить экономию средств, затраченных на обеспечение промышленной чистоты без снижения общего качества изделия.

Ключевые слова: промышленная чистота, чистые помещения, производство ракет-носителей, нормы промышленной чистоты, требования промышленной чистоты, класс промышленной чистоты.

Цитирование: Круглов И.А. Проблемы установления оптимальных норм промышленной чистоты при создании авиационно-космической техники // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 5 (80). С. 14–18.

ВВЕДЕНИЕ

Авиационная и ракетно-космическая техника очень чувствительна к технологиям обеспечения промышленной чистоты. Еще на заре авиации, забытые при сборке внутри фюзеляжа инструменты, приводили к авариям и катастрофам.

Например, в октябре 1999 года произошла авария при запуске ракеты-носителя «Протон-М», которая должна была вывести на орбиту весьма дорогостоящий аппарат связи «Экспресс-А». После четырех месяцев работы комиссия дала заключение, что причиной аварии стало нарушение технологии производства маршевых двигателей в части обеспечения промышленной чистоты. В результате некорректной работы специалистов предприятия-изготовителя во внутреннюю полость двигателя попали посторонние предметы – частицы асбеста и песка, которые привели к аварийному отключению двигателя во время пуска и, как следствие, к гибели ракеты-носителя и спутника связи. Стоимость изделий исчисляется миллиардами. Кроме того, после аварии были приостановлены пуски РН «Протон» на несколько месяцев, предприятию-изготовителю двигателей пришлось провести проверку и переборку всего задела ранее произведенной продукции, что привело к огромным экономическим убыткам.

В октябре 2018 года произошла авария при запуске РН «Союз-ФГ», целью которого был вывод на орбиту космического корабля «Союз МС-10» с двумя новыми членами экипажа международной космической станции (МКС).

В результате нештатной ситуации космонавтам пришлось эвакуироваться с помощью спасательной капсулы, благодаря чему удалось избежать человеческих жертв. А вот экологического ущерба избежать не удалось, т.к. в результате аварии 22 тонны керосина и кислорода пролились на землю. Члены комиссии одной из причин аварии назвали «нарушение требований ПЧ при производстве системы разведения ступеней». Аналогично примеру с аварией РН «Протон» пуски РН «Союз» приостановили на несколько месяцев до выяснения причин аварии. Кроме того, пришлось провести проверку огромного количества уже изготовленных узлов и агрегатов РН. Понимая объем проделанных работ, можно предположить, что стоимость понесенных расходов колоссальная.

Приведенные примеры – лишь малая часть реальных случаев аварий по причине нарушения требований к промышленной чистоте. Но и они показывают реальную значимость и важность данного вопроса.

УСТАНОВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ НОРМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧИСТОТЫ ПРИ СОЗДАНИИ РКТ

Когда речь заходит об организации машиностроительного производства, в том числе и о производстве ракетно-космической техники, сразу появляется вопрос о конечном качестве продукции. Это связано с тем, что недостаточно высокое качество конечного изделия может повлечь за собой значительные затраты, связанные либо с невыполнением поставленных задач, либо с устранением последствий некорректной работы изделия. Например, если рассматривать последствия запуска некачественной ракеты-носителя, то стоимость ликвидации последствий аварийного пуска может исчисляться миллиардами рублей. Именно поэтому предприятия-изготовители уделяют огромное внимание качеству продукции и решают проблемы, влияющие на это самое качество. Одной из них является проблема обеспечения промышленной чистоты.

Те, кто работает в ракетно-космической отрасли, постоянно слышат такие термины, как промышленная чистота, чистые помещения, чистые зоны, нормы и требования промышленной чистоты и т.д. И действительно, если посетить предприятия – изготовители ракет-носителей, спутников, космических аппаратов, то на каждом предприятии есть сборочные цехи, в которые невозможно попасть не только по причине секретности, но и по причине того, что там находится чистая зона. То же самое касается и монтажно-испытательных комплексов (МИК) на космодромах, в которых происходит окончательная сборка элементов ступеней ракеты-носителя, а также тестирования, проверки и итоговые испытания оборудования, которое используется в космическом полете. В МИК обеспечивается необходимый класс промышленной чистоты, установленный техническими условиями.

В качестве объектов для изучения были выбраны два предприятия, изготавливающие схожие изделия. Посещение производственных площадей и монтажно-испытательных комплексов обоих предприятий показало наглядно, что установленные нормы к уровню чистоты в аналогичных сборочных цехах и в МИК отличаются существенно. В одном случае это нормы, построенные на требованиях ГОСТ Р ИСО [1, 2, 3]. Фактически от требований к помещению были установлены нормы на изделие. Во втором случае установлены конкретные (измеримые) нормы к чистоте рабочих сред, а вот нормы к помещениям не установлены. Для ответа на вопрос «какая схема более эффективна» целесообразно разобраться с вопросами установления таких норм. Для ответа на данные вопросы сформулированы несколько гипотез.

Гипотеза № 1

Можно было бы предположить, что отличия связаны с исполнительской дисциплиной в части выполнения требова-

ний к обеспечению ПЧ работниками одного из предприятий, но нет. Анализ внутренних нормативных документов обоих предприятий «Технические требования к чистым помещениям» показал реальные отличия.

Гипотеза № 2

Также можно было бы предположить, что более жесткие требования к чистоте на предприятии, которое изготавливает пилотируемую технику, т.е. к повышенному уровню чистоты, необходимы для обеспечения более высокого качества конечного изделия с целью снижения вероятности аварийного пуска и, как следствие, сохранения жизни и здоровья людей – космонавтов. Но гипотеза снова не верна. Более жесткие требования к чистоте в МИК – на предприятии – изготовителе непилотируемой техники.

Возникает вопрос: чем же обусловлены нормы промышленной чистоты на данных предприятиях? Если учитывать, что процент безаварийных пусков идентичен, то есть ли смысл устанавливать более жесткие нормы на одном из предприятий?

Изучив государственные и отраслевые стандарты [1–7] и др., а также ряд соответствующей литературы [8–10] и статьи [11–12], применяемые в нашей стране, внутренние нормативные документы предприятий, а также проведя переговоры с работниками конструкторских отделов, руководителями сборочных производств и т.д. сделан вывод, что оба предприятия используют одни и те же документы и методики установления норм промышленной чистоты. Однако конечные результаты установления норм промышленной чистоты для сборочных цехов и МИК на предприятиях – изготовителях отличаются.

Найти объективное объяснение существенно различающимся нормам промышленной чистоты в аналогичных помещениях разных предприятий в настоящее время не удалось. Однако, погрузившись в вопрос обеспечения промышленной чистоты при производстве космической техники на всех стадиях его наземной эксплуатации и поняв необходимость более жестких требований к чистоте, появилась еще одна гипотеза, объясняющая существенно различающиеся нормы ПЧ в аналогичных помещениях разных предприятий – изготовителей РН.

Гипотеза № 3

На предприятии-изготовителе с более высокими требованиями к нормам промышленной чистоты ранее разрабатывали и изготавливали другую технику, в том числе и пилотируемую. Технические условия на изделия разрабатывали с учетом необходимости их долговременного нахождения в космическом пространстве, а также с учетом нахождения внутри модулей экипажа. Соответственно требования к промышленной чистоте на всех стадиях произ-

водства закладывались достаточно высокие. Далее на этих же производственных площадях изготавливали и пилотируемую технику нового поколения.

В это же время в этих же сборочных цехах происходила финальная сборка изделий, нормы промышленной чистоты для которых могли быть существенно ниже. Но из-за наличия «более требовательного соседа» в виде пилотируемой техники применялись аналогичные нормы ПЧ. В настоящее время линейка производства техники сильно изменилась, старых изделий в сборочных цехах уже давно нет, а завышенные требования к ПЧ остались.

Если предположить, что гипотеза №3 верна, то ставится под сомнение объективность установления норм промышленной чистоты, действующих на описываемом предприятии. С учетом того, что для снижения затрат предприятия, в том числе финансовых и трудовых, за оптимальный уровень чистоты необходимо принимать максимально допустимый уровень загрязнения, который не повлечет за собой снижение показателей качества и надежности изделия. Данное утверждение действительно как для промышленной чистоты в разрезе чистых помещений, так и для чистоты внутри систем и агрегатов машин.

Таким образом можно сделать вывод, что оптимальный уровень чистоты можно выбрать только при индивидуальном подходе к конкретному изделию. А использование «исторически сложившихся» норм – в корне неверный подход. Самый примитивный экономический расчет затрат показал, что завышение требований промышленной чистоты в сборочных цехах и МИК на 1 класс увеличивает себестоимость изделия на миллионы рублей, так как для обеспечения более высокого класса чистоты необходимы:

- 1) дополнительный обслуживающий персонал или персонал более высокого уровня подготовки;
- 2) дополнительные методы и средства обеспечения чистоты;
- 3) дополнительные методы и средства диагностики и контроля достижения необходимого уровня чистоты. Данные дополнительные расходы являются обоснованными затратами, которых можно избежать, если устанавливать максимально допустимый уровень загрязнения в чистом помещении. Аналогичный подход целесообразно использовать при установлении требований к уровню чистоты в агрегатах и системах машин и механизмов.

Так как же определить и установить максимально допустимый уровень загрязнения?

Для определения максимально допустимого уровня загрязнения необходимо оценить влияние класса промышленной чистоты на показатели надежности и качества изделия. Если речь идет об уровне чистоты «чистых по-

мещений», то необходимо оценить влияние загрязнений на процессы, которые осуществляются в данном помещении, и изделия, изготавливаемые конкретно в нем. Если же речь идет об уровне чистоты внутри узлов и агрегатов, то кроме чистоты помещения необходимо оценивать наличие загрязнителей на поверхностях составных частей агрегатов и узлов и в рабочих жидкостях.

Например, считается, что в настоящее время от 60 до 90% отказов в гидроприводе так или иначе является следствием загрязнения рабочих жидкостей механическими твердыми частицами, которые остались внутри гидропривода после механической обработки или сборки или попали внутрь в составе рабочих жидкостей [11]. Это значит, что при производстве гидроприводов уровень чистоты существенно важен. А для определения максимально допустимого уровня загрязнения следует учесть не только количество загрязняющих частиц, но и их природу, качество и последствия воздействия на агрегат. Количество предопределяет однородность загрязнений, качество – их структуру, а природа – источник загрязнения. В конкретном гидроприводе должен поддерживаться оптимальный экономически целесообразный уровень чистоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В нормативно-технической документации в машиностроении устанавливаются нормы к промышленной чистоте. Однако исторически сложившиеся нормы во многом устарели, они должны регулярно оцениваться и корректироваться. Исторический подход «так делали всегда» уже не подходит. В настоящее время разрабатывается методика оценки норм промышленной чистоты, основанная на глубоком проведении анализа видов и последствий критичности отказов. Такой анализ целесообразно проводить в отношении критичных элементов составных частей изделия. Необходимо определить возможные источники загрязнения. Исключить из расчетов защищенные фильтрами зоны. Провести расчет максимально допустимой загрязненности в момент времени.

Решение данной задачи позволит осуществить экономии средств, затраченных на обеспечение промышленной чистоты без снижения качества изделия и его составных частей.

Список использованных источников и литературы

1. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха по концентрации частиц. – М.: Стандартиформ, 2017. – 35 с.
2. ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию. – М.: Стандартиформ, 2010. – 39 с.
3. ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 5. Эксплуатация. – М.: Стандартиформ, 2005. – 42 с.
4. ГОСТ Р 51610-2000. Чистота промышленная. Установление норм промышленной чистоты при разработке, производстве и эксплуатации продукции. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 5 с.
5. ГОСТ Р 51752-2001. Чистота промышленная. Обеспечение и контроль при разработке, производстве и эксплуатации продукции. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.
6. ГОСТ Р 53450-2009. Двигатели авиационные и их составные части. Промышленная чистота гидравлических, масляных и топливных систем. Классы чистоты жидкостей. – М.: Стандартиформ, 2019. – 7 с.
7. ОСТ 92-0300-92. Промышленная чистота. Общие требования.
8. Белянин П.Н. Промышленная чистота машин / П.Н. Белянин, В.М. Данилов. – Москва: Машиностроение, 1982. – 224 с.: ил. – Библиогр.; с. 221–222.
9. Федотов А.Е. Чистые помещения. Асинком, 2021, 528 с.
10. Фещенко В.Н. Обеспечение качества продукции в машиностроении: учеб. / В.Н. Фещенко. – М.: Инфра-Инженерия, 2019. – 788 с. ISBN 978-5-9729-239-2.
11. Барышев В.И. Классификация, контроль и нормирование промышленной чистоты рабочих жидкостей и масел / В.И. Барышев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2005. – № 1(41). – С. 149–161. – EDN KYSTNP.
12. Безопасность полетов воздушных судов и промышленная чистота рабочих полостей их жидкостно-газовых систем / В.Б. Кровяков, А.В. Гостев, М.В. Тюлькин, А.С. Грешнов // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации, Москва, 18–19 мая 2023 года. – Москва: ИД Академии имени Н.Е. Жуковского, 2023. – С. 148–150. – EDN QHXFND.

PROBLEMS OF ESTABLISHING OPTIMAL STANDARDS OF INDUSTRIAL CLEANLINESS IN THE CREATION OF AEROSPACE TECHNOLOGY

Kruglov I.A., graduate student, Institute of Advanced Technologies and Industrial Programming, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «MIREA – Russian Technological University» (IPTIP, RTU MIREA), Head of the Project Office direction, JSC «NPO «Technomash», Moscow

Insufficient provision of industrial cleanliness has led to accidents of both aviation and rocket and space technology at all times. The article provides examples of real emergency launches of PROTON and SOYUZ launch vehicles, the reasons for which, according to the conclusion of the commissions, were violations of industrial cleanliness requirements in the production of component parts of products. The consequences of these emergency launches are described. The article also considers the situation of establishing significantly different standards of industrial purity when performing similar technological operations in assembly shops and assembly and test complexes for the production of identical rocket and space technology using the example of two enterprises of the rocket and space industry currently operating. Three hypotheses of existing differences in the establishment of different standards of industrial cleanliness at these enterprises have been put forward. Two hypotheses have been refuted, and one needs to be worked out in more detail. In conclusion, recommendations are given to improve activities related to the establishment of optimal standards of industrial cleanliness in the creation of aerospace technology, which will allow saving money spent on ensuring industrial cleanliness without reducing the overall quality of the product. In particular, the author believes that historically established norms are largely outdated and should

be regularly evaluated and adjusted. To establish optimal standards for a specific product or component, it is necessary to follow a number of steps proposed by the author.

Keywords: industrial cleanliness, clean rooms, production of launch vehicles, industrial cleanliness standards, industrial cleanliness requirements, industrial cleanliness class.

For citation: Kruglov I.A. Problems of Establishing Optimal Standards of Industrial Cleanliness in the Creation of Aerospace Technology. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024; 5 (80): 14–18. (In Russ.).

References

1. GOST R ISO 14644–1. Clean rooms and associated controlled environments. Part 1. Classification of air purity by particle concentration.
2. GOST R ISO 14644–4. Clean rooms and associated controlled environments. Part 4. Design, construction and commissioning.
3. GOST R ISO 14644–5. Clean rooms and associated controlled environments. Part 5. Operation.
4. GOST R 51610–2000. Industrial cleanliness. Establishing standards of industrial cleanliness in the development, production and operation of products.
5. GOST R 51752–2001. Industrial cleanliness. Ensuring and controlling the development, production and operation of products.
6. GOST R 53450–2009. Aviation engines and their components. Industrial cleanliness of hydraulic, oil and fuel systems. Classes of purity of liquids.
7. OST 92-0300–92. Industrial cleanliness. General requirements.
8. Belyanin P.N. Industrial cleanliness of machines / P.N. Belyanin, V.M. Danilov. – Moscow: Mashinostroenie, 1982. – 224 p.: ill. – Bibliogr.: pp. 221–222.
9. Fedotov A.E. Clean rooms. Asinkom, 2021, 528 p.
10. Feshchenko V.N. Product quality assurance in mechanical engineering: textbook / V.N. Feshchenko. – M.: Infra-Engineering, 2019. – 788 p. ISBN 978-5-9729-239-2.
11. Baryshev V.I. Classification, control and rationing of industrial purity of working fluids and oils / V.I. Baryshev // Bulletin of the South Ural State University university. Series: Mechanical Engineering. – 2005. – № 1(41). – Pp. 149–161. – EDN KYSTNP.
12. Aircraft flight safety and industrial cleanliness of the working cavities of their liquid-gas systems / V.B. Krovyakov, A.V. Gostev, M.V. Tyulkin, A.S. Greshnov // Civil aviation at the present stage of development of science, technology and society: A collection of abstracts of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of the Russian Civil Aviation, Moscow, May 18–19, 2023. – Moscow: Publishing House of the N.E. Zhukovsky Academy, 2023. – pp. 148–150. – EDN QHXFND.