

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»**

Школа «Транспортная инженерия и логистика»

ОП «Транспортная инженерия»

Катипов Мәди Талғатұлы

**Тема: «Использование инструментов и приспособлений для повышения
точности сборки автомобилей»**

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07108 – Транспортная инженерия

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Школа «Транспортная инженерия и логистика»

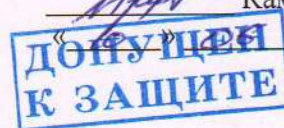
ОП «Транспортная инженерия»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Руководитель ОП

«Транспортная инженерия»,
доктор PhD

_____ Камзанов Н.С.
«_____» 2025г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Использование инструментов и приспособлений для повышения точности сборки
автомобилей»

6B07108 – Транспортная инженерия

Выполнил

Катипов Мәди Талғатұлы

Рецензент

Ассоциированный
профессор, доктор PhD

_____ Бакыт Ғ. Б.
«_____» 2025г.

Научный руководитель
Старший преподаватель,
магистр

_____ Елибаева Б. У.
«_____» 2025г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Школа «Транспортная инженерия и логистика»

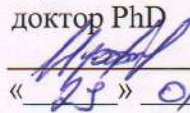
ОП «Транспортная инженерия»

6B07108 – Транспортная инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП

«Транспортная инженерия»,
доктор PhD

 Камзанов Н.С.
« 23 » 01 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Катинова Мэди Талгатұлы

Тема: «Использование инструментов и приспособлений для повышения точности сборки автомобилей»

Утверждена приказом Ректора Университета за №26-П/Ө от 29.01.2025г

Срок сдачи законченной работы «10» июня 2025г.

Исходные данные к дипломной работе: Анализ требований к точности сборки в условиях промышленного производства, чертёж цеха сварки, обзор и применение современных инструментов, шаблонов, калибров и приспособлений, Практическое обоснование эффективности внедрения направляющих шаблонов, перспектив внедрения роботизации и автоматизации сборочных процессов.

Краткое содержание дипломной работы:

а) Теоретические основы точности сборки. Понятие и виды точности в машиностроении. Требования к точности в автомобильной промышленности;

б) Инструменты и приспособления, применяемые на сборочных линиях. Ручной и механизированный инструмент. Основные технологии 3D-сканирования;

в) Практическое применение и анализ эффективности. Перспективы внедрения интеллектуальных инструментов. Применение шаблона для установки панели приборов;

г) Роботизация в автомобильной промышленности. Значение и возможности роботизации. Экономический анализ роботизации

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены 17 слайдов презентации работы.

Рекомендуемая основная литература: из 8 наименований

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Теоретические основы точности сборки	08.12.2024 - 10.02.2025	выполнено
Инструменты и приспособления, применяемые на сборочных линиях	11.02.2025 – 25.03.2025	выполнено
Практическое применение и анализ эффективности	26.03.2025 - 27.05.2025	выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу
с указанием относящихся к нему разделов работы

Наименование разделов	Консультанты (И.О.Ф., уч.степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Роботизация в автомобильной промышленности	Елибаева Б. У., Старший преподаватель, магистр	02.06.2025г.	
Нормоконтролер	Сарсанбеков К.К., Старший преподаватель	05.06.2025г.	

Научный руководитель  Елибаева Б. У.

Задание принял к исполнению обучающийся  Катипов М. Т.

Дата "06" декабря 2024г.

АНДАТПА

Дипломдық жоба автомобильдерді құрастыру дәлдігін арттыратын заманауи құралдар мен құрылғыларды зерттейді. Шаблондардың, координаталық өлшеу машиналарының, интеллектуалды крутящий кілттердің және 3D сканерлердің жұмыс принциптері қарастырылады. Құрастыру үлгісін есептеу, материалдарды таңдау жүргізілді, роботты енгізуге экономикалық баға берілді. Заманауи технологияларды қолдану ақауларды азайтады және процестің тұрақтылығын арттырады. Жұмыс графикалық бөліктің 8 парағын, 32 беттен тұратын түсіндірме жазбаны қамтиды және 8 әдебиет көзін пайдаланады.

АННОТАЦИЯ

В дипломном проекте исследуются современные инструменты и приспособления, повышающие точность сборки автомобилей. Рассмотрены принципы работы шаблонов, координатно-измерительных машин, интеллектуальных динамометрических ключей и 3D-сканеров. Проведён расчёт сборочного шаблона, выбор материалов, дана экономическая оценка внедрения робота. Показано, что применение современных технологий снижает количество дефектов и повышает стабильность процесса. Работа включает 8 листов графической части, пояснительную записку на 32 страницах и использует 8 источников литературы.

ABSTRACT

The thesis project explores modern tools and devices that increase the accuracy of car assembly. The principles of operation of templates, coordinate measuring machines, intelligent torque wrenches and 3D scanners are considered. An assembly template was calculated, materials were selected, and an economic assessment of the robot's implementation was given. It is shown that the use of modern technologies reduces the number of defects and increases the stability of the process. The work includes 8 sheets of graphic part, an explanatory note on 32 pages and uses 8 sources of literature.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1. Теоретические основы точности сборки	9
1.1 Понятие и виды точности в машиностроении	9
1.2 Факторы, влияющие на точность сборки	9
1.3 Требования к точности в автомобильной промышленности	10
1.4 Значение точности сборки для автомобиля	11
1.5 Статистические методы оценки точности сборки	12
1.6 Влияние допусков на общую точность сборки	13
1.7 Международные стандарты точности в автомобилестроении	13
2. Инструменты и приспособления, применяемые на сборочных линиях	15
2.1 Ручной и механизированный инструмент	15
2.2 Оснастка	16
2.3 Прогиб основания сварочной оснастки под нагрузкой	17
2.4 Контрольно-измерительные инструменты и приспособления	18
2.5 Основные технологии 3D-сканирования	19
2.6 Координатно-измерительные машины	21
2.7 Аддитивные технологии для изготовления оснастки	23
2.8 Беспроводные интеллектуальные инструменты	24
2.9 Сравнение точности затяжки	25
2.10 Системы автоматической смены инструмента	27
3. Практическое применение и анализ эффективности	28
3.1 Повышение точности и сокращение брака	28
3.2 Экономическая эффективность внедрения специализированных приспособлений	28
3.3 Перспективы внедрения интеллектуальных инструментов	28
3.4 Влияние зазора в отверстиях на точность установки детали	29
3.5 Применение шаблона для установки панели приборов	30
4. Роботизация в автомобильной промышленности	34
4.1 Значение и возможности роботизации	34
4.2 Экономический анализ роботизации	34
4.3 Дополнительные выгоды внедрения промышленных роботов	37
Заключение	39
Список использованной литературы	40

ВВЕДЕНИЕ

Современное автомобилестроение характеризуется неуклонным ростом уровня технологичности и глубокой автоматизацией производственных процессов. В условиях высококонкурентной среды обеспечение высокой точности сборки становится одним из ключевых факторов, определяющих качество выпускаемой продукции. Даже незначительные отклонения, допущенные при соединении компонентов, могут привести к ухудшению эксплуатационных характеристик автомобиля — повышенному уровню шума и вибраций, ускоренному износу узлов и агрегатов, снижению безопасности и ухудшению управляемости.

В условиях интенсивного массового производства первостепенное значение приобретает стабильность и повторяемость технологических процессов. Только при высокой степени воспроизводимости операций возможно достижение высокого качества автомобилей. Надежность, безопасность и долговечность техники напрямую зависят от точности сборки, особенно на финальных этапах производства.

Для обеспечения этих требований в автомобилестроении широко используются специализированные инструменты и приспособления, разрабатываемые с учётом специфики сборочных операций. Они обеспечивают точную фиксацию и позиционирование деталей, автоматизируют рутинные процессы, снижают влияние человеческого фактора и позволяют осуществлять эффективный контроль качества на каждом этапе сборки.

Целью данной работы является анализ, оценка и обоснование эффективных инструментов, приспособлений и технологий, направленных на повышение точности сборки автомобилей в условиях массового производства и перехода к цифровому производству (Индустрия 4.0). В частности, рассматриваются высокоточные системы машинного зрения, роботизированные комплексы, системы позиционирования с числовым программным управлением, а также использование аддитивных технологий для оперативного изготовления индивидуальной оснастки.

Комплексным индикатором качества машин и оборудования является их конкурентоспособность на глобальном рынке. Этот показатель напрямую связан с эксплуатационными характеристиками, надёжностью, стоимостью производства и уровнем автоматизации. Высокие требования к современным автомобилям диктуются необходимостью обеспечения оптимальных потребительских свойств, энергоэффективности, экологичности и минимизации трудоёмкости производства.

Особое значение в обеспечении этих показателей приобретает этап сборки завершающий, но критически важный этап производственного цикла. Именно на этом этапе формируется окончательное качество изделия, определяются его эксплуатационные свойства и соответствие нормативным требованиям. В современных условиях сборка автомобиля перестаёт быть лишь частью производственного процесса и становится стратегически значимым элементом,

влияющим на имидж бренда, потребительское восприятие продукции и её коммерческий успех.

Точность сборки — это комплексный параметр, охватывающий все стадии производства: от соединения отдельных компонентов с микронной точностью до финальной установки агрегатов и систем. Малейшие отклонения от технических требований на любом из этапов могут привести к функциональным нарушениям и ухудшению эксплуатационных характеристик. Таким образом, обеспечение высокой точности сборки — не просто производственная задача, а основа создания конкурентоспособного, надёжного и безопасного автомобиля.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТОЧНОСТИ СБОРКИ

1.1 Понятие и виды точности в машиностроении.

Точность в машиностроении — это мера соответствия фактических геометрических и функциональных параметров изделия значениям, предусмотренным проектной и технологической документацией. Она напрямую определяет качество, надёжность и эксплуатационные характеристики конечного продукта. Это фундаментальное понятие, определяющее качество, надёжность и эксплуатационные характеристики конечного продукта. В машиностроении принято выделять несколько ключевых видов точности:

Линейная точность. Характеризует степень соответствия фактических линейных размеров (длин, высот, диаметров, расстояний между элементами) заданным значениям. В автомобилестроении она критически важна при сборке кузовных панелей, определении колесной базы и межосевого расстояния.

Угловая точность. Отражает степень соответствия фактических углов между элементами конструкции проектным значениям. В автомобилестроении это важно при установке углов наклона колес, углов установки фар и геометрии рулевого управления.

Посадочная точность. Определяет характер соединения сопрягаемых деталей и узлов (например, вала и отверстия) и обеспечивается выбором соответствующих посадок (зазоров или натягов). В автомобилестроении точность посадки критична при установке подшипников, валов и других вращающихся элементов двигателя, трансмиссии и ходовой части.

Сборочная точность. Характеризует точность взаимного положения соединенных сборочных единиц и деталей в готовом изделии. Она зависит от точности изготовления отдельных компонентов и точности выполнения сборочных операций. В автомобилестроении сборочная точность является интегральным показателем качества сборки кузова, силового агрегата, подвески и других систем.

Под качеством сборки машины подразумевается, в первую очередь, ее точность – мера соответствия точностных параметров и показателей отдельных элементов, сборочных единиц и машины в целом значениям, установленным техническими требованиями и конструкторской документацией. Эксплуатационные показатели машин находятся в прямой зависимости от точности изготовления и сборки всех ее составных частей и машины как целостной системы.

1.2 Факторы, влияющие на точность сборки.

На достижение требуемой точности сборки оказывает влияние целый ряд взаимосвязанных факторов:

Качество исходных деталей. Точность изготовления отдельных деталей является фундаментом для обеспечения точности сборки. Детали с

отклонениями, выходящими за пределы допусков, неизбежно приведут к погрешностям при сборке.

Температурный режим. Изменения температуры могут вызывать термическое расширение или сжатие деталей и сборочной оснастки, что может привести к временным или постоянным отклонениям от требуемых размеров и положений. Контроль температуры в сборочном цехе является важным аспектом обеспечения стабильности процесса.

Квалификация персонала. Уровень знаний, навыков и опыта сборщиков напрямую влияет на качество выполняемых операций. Неправильное выполнение сборочных процедур или недостаточное внимание к деталям могут привести к снижению точности.

Износ инструмента. Использование изношенного или неправильно настроенного сборочного инструмента (ключей, отверток, зажимных устройств) может привести к неточному соединению деталей и повреждению поверхностей. Регулярное обслуживание и калибровка инструмента необходимы.

Стабильность сборочной оснастки. Сборочные приспособления (кондукторы, шаблоны, стенды) играют ключевую роль в обеспечении фиксированного положения деталей во время сборки. Любая нестабильность, деформация или неправильная настройка оснастки приведет к снижению точности. Правильный выбор, эксплуатация и регулярная проверка сборочной оснастки являются критически важными.

Допуски в конструкции. Заложенные в конструкторской документации допуски определяют допустимые отклонения размеров и взаимного положения деталей. Оптимальное назначение допусков с учетом технологических возможностей производства является важным этапом проектирования.

Организация рабочего места и соблюдение принципов эргономики. Удобное и правильно организованное рабочее место снижает вероятность ошибок, связанных с усталостью и неудобством работы сборщика, тем самым способствуя повышению точности.

Применяемые методы контроля. Эффективные системы контроля качества на различных этапах сборки позволяют своевременно выявлять и устранять отклонения, предотвращая накопление погрешностей в конечном продукте.

1.3 Требования к точности в автомобильной промышленности.

Автомобильные компании устанавливают исключительно строгие допуски на процессы сборки, что обусловлено высокими требованиями к безопасности, надежности и эксплуатационным характеристикам автомобилей. Примеры таких жестких требований включают:

Допуски на зазоры между кузовными панелями. Могут составлять всего 1–2 мм, что требует высокой точности штамповки, сварки и последующей сборки кузова для обеспечения эстетичного внешнего вида и аэродинамических характеристик.

Точность посадки двигателя и трансмиссии. Достигает десятков микрон, что необходимо для обеспечения правильной работы силового агрегата, минимизации вибраций и шума, а также для точной передачи крутящего момента.

Эти высокие требования обуславливают необходимость применения высокоточных инструментов, измерительных приборов и калибров на всех этапах сборочного процесса. В автомобильной промышленности также широко используются:

Методы статистического управления качеством (SPC). Для мониторинга и контроля стабильности сборочных процессов, выявления тенденций к отклонениям и предотвращения брака.

Автоматизированные системы мониторинга сборочного процесса. Включают в себя датчики, камеры машинного зрения и программное обеспечение для непрерывного контроля параметров сборки в режиме реального времени.

1.4 Значение точности сборки для автомобиля.

Визуальное восприятие автомобиля в значительной степени формируется точностью его сборки. Равномерные и минимальные зазоры между кузовными панелями, отсутствие видимых перекосов и люфтов в элементах интерьера создают у потребителя ощущение высокого качества изготовления и пристального внимания производителя к деталям. Напротив, небрежная сборка способна испортить впечатление даже от самого инновационного дизайна и вызвать негативное восприятие бренда.

Функциональная надежность и долговечность автомобиля напрямую зависят от точности сборки его узлов и агрегатов. Неправильно собранные компоненты подвергаются повышенным механическим нагрузкам, вибрациям и, как следствие, ускоренному износу. Это неизбежно приводит к сокращению срока службы деталей, возникновению преждевременных поломок и увеличению затрат на техническое обслуживание и ремонт автомобиля в течение всего периода его эксплуатации. Высокая точность сборки обеспечивает оптимальное взаимодействие всех компонентов, минимизируя трение, нежелательные люфты и другие факторы, способствующие износу.

Точная сборка имеет критическое значение для систем, отвечающих за безопасность движения. Корректная установка элементов подвески, рулевого управления и тормозной системы напрямую влияет на динамические характеристики автомобиля, такие как разгонная динамика, управляемость, плавность хода и топливная экономичность. Любые отклонения в сборке этих систем могут существенно ухудшить характеристики безопасности и управляемости автомобиля, создавая угрозу для водителя и пассажиров.

Примером бескомпромиссного подхода к точности сборки является философия производства автомобилей Lexus. В процессе создания этих автомобилей каждый сотрудник сборочного цеха выполняет не только свою

непосредственную операцию, но и выступает в роли инспектора качества. На всех этапах сборки каждый работник осознает свою персональную ответственность за качество выполненной им работы. В ходе производства автомобилей Lexus проводится более 3100 различных проверок, в рамках которых высококвалифицированные специалисты тщательно осматривают каждый автомобиль, тестируют работу систем, проверяют геометрические размеры, чтобы вынести окончательное заключение о соответствии результата установленным нормам и успешном прохождении контроля качества. Особое внимание уделяется качеству лакокрасочного покрытия. Контролеры качества покраски на производстве Lexus проходят регулярную аттестацию до 4 раз в год. Эта аттестация включает в себя проверку остроты зрения, необходимой для выявления мельчайших дефектов поверхности, которые они обязаны обнаружить. Важной частью аттестации является тест на цветовосприятие: контролерам необходимо расположить ряд из 20 цветовых образцов в правильном спектральном порядке. Этот пример наглядно демонстрирует тот уровень внимания к деталям и стремление к абсолютной точности, который является неотъемлемой частью современного высококачественного автомобилестроения.

1.5 Статистические методы оценки точности сборки.

В современном автомобилестроении для обеспечения и контроля точности сборки широко применяются статистические методы оценки. Эти методы позволяют не только определить фактическую точность, но и оценить стабильность производственных процессов, выявить потенциальные источники отклонений и прогнозировать качество будущей продукции. Ключевыми статистическими инструментами являются:

Статистический контроль процессов (SPC - Statistical Process Control). Набор методов, используемых для мониторинга и управления процессом с целью поддержания его в стабильном состоянии и минимизации вариабельности. В контексте сборки SPC может применяться для контроля геометрических размеров собранных узлов, моментов затяжки резьбовых соединений, усилия при запрессовке и других критически важных параметров.

Анализ воспроизводимости и повторяемости измерений (GR&R - Gauge Repeatability and Reproducibility). Методика, позволяющая оценить вариабельность измерительной системы, включая повторяемость (вариация измерений одним оператором с одним и тем же инструментом) и воспроизводимость (вариация измерений разными операторами с разными инструментами). Понимание GR&R критически важно для достоверности данных контроля точности сборки.

Анализ возможностей процесса (Process Capability Analysis). Методы, используемые для определения того, способен ли производственный процесс стабильно производить продукцию в пределах заданных допусков.

Диаграммы Парето и причинно-следственные диаграммы (Исикавы). Используются для выявления наиболее значимых факторов, влияющих на точность сборки и возникновение дефектов. Диаграмма Парето позволяет ранжировать проблемы по их частоте или стоимости, а диаграмма Исикавы помогает систематизировать потенциальные причины проблемы.

Планирование эксперимента (DOE - Design of Experiments). Набор статистических методов, позволяющих исследовать влияние различных факторов на выходные параметры процесса сборки. DOE может быть использован для оптимизации параметров сборки с целью повышения точности и снижения вариабельности.

1.6 Влияние допусков на общую точность сборки.

Допуски, определённые на этапе проектирования, играют ключевую роль в достижении необходимой точности сборки. Они задают допустимые пределы отклонений размеров и взаимного расположения компонентов, от чего зависит стабильность работы готового изделия. При сборке происходит суммирование погрешностей отдельных компонентов, и если допуски на эти компоненты слишком велики, то итоговая точность сборки может оказаться неудовлетворительной.

Существует несколько подходов к расчету результирующей точности сборки с учетом допусков:

Метод полной взаимозаменяемости (метод максимума-минимума). Предполагает, что все детали в сборке могут иметь крайние значения своих допусков. В этом случае результирующий допуск определяется как арифметическая сумма допусков всех составляющих элементов. Этот метод обеспечивает полную взаимозаменяемость, но может привести к излишне жестким требованиям к точности изготовления отдельных деталей и, как следствие, к увеличению их стоимости.

Метод моделирования Монте-Карло. Использует случайное моделирование для оценки распределения результирующего параметра сборки при заданных распределениях допусков на отдельные компоненты. Этот метод позволяет получить более реалистичную оценку точности сборки, особенно для сложных систем с большим количеством сопрягаемых деталей.

Правильное назначение и анализ влияния допусков на этапе проектирования являются ключевыми для обеспечения требуемой точности сборки при оптимальных затратах на производство.

1.7 Международные стандарты точности в автомобилестроении.

В автомобильной промышленности действуют различные международные стандарты, регламентирующие требования к точности изготовления и сборки компонентов, а также методы контроля качества. Соблюдение этих стандартов является важным условием для обеспечения безопасности, надежности и

соответствия продукции требованиям мирового рынка. К наиболее значимым международным стандартам относятся:

IATF 16949. Является ключевым стандартом системы менеджмента качества для автомобильной промышленности, разработанным Международной целевой группой по автомобилестроению (IATF). Он устанавливает требования к процессам проектирования, разработки, производства, монтажа и обслуживания автомобильной продукции, включая аспекты, связанные с точностью сборки и контролем качества. Данный стандарт пришел на смену ISO/TS 16949 и является обязательным для многих автопроизводителей и поставщиков первого уровня.

VDA (Verband der Automobilindustrie). Ассоциация автомобильной промышленности Германии разрабатывает серию стандартов VDA, которые являются важными руководствами и спецификациями, применяемыми многими европейскими и международными автопроизводителями. Эти стандарты охватывают широкий спектр вопросов, включая требования к качеству, метрологии, контролю процессов и логистике в автомобилестроении. В контексте точности сборки, стандарты VDA могут содержать специфические требования к допускам, методам измерений и отчетности.

MSA (Measurement System Analysis). Руководство, разработанное Automotive Industry Action Group (AIAG), предоставляет методологии для оценки пригодности измерительных систем, используемых для контроля качества, включая точность измерений геометрических параметров при сборке. Корректное применение MSA обеспечивает достоверность данных измерений, на основе которых принимаются решения о соответствии процесса сборки установленным требованиям.

SPC (Statistical Process Control) Reference Manual. Еще одно важное руководство AIAG, предоставляющее подробные рекомендации по применению статистических методов для управления производственными процессами и контроля качества в автомобильной промышленности. Внедрение SPC помогает отслеживать стабильность процессов сборки и своевременно выявлять и устранять причины отклонений от заданной точности.

ISO 10360 (серия стандартов). Данная серия международных стандартов устанавливает требования к характеристикам и поверке координатно-измерительных машин (КИМ), которые играют ключевую роль в контроле точности геометрических параметров деталей и сборочных единиц в автомобилестроении. Соблюдение ISO 10360 гарантирует надежность и сопоставимость результатов измерений, выполняемых с помощью КИМ.

Соблюдение этих и других отраслевых стандартов не только обеспечивает соответствие продукции определенным требованиям качества и безопасности, но и способствует повышению эффективности производственных процессов, снижению рисков возникновения дефектов и укреплению доверия потребителей к бренду.

2 ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА СБОРОЧНЫХ ЛИНИЯХ

2.1 Ручной и механизированный инструмент.

На начальных этапах сборки автомобилей широко применяются ручные, пневматические и электрические инструменты, такие как гайковёрты, шуруповёрты, отвертки и др. Эти инструменты используются при сборке кузова, монтаже панелей, установке систем и компонентов, где требуется высокая точность и надёжность соединений. Одним из важнейших параметров при выполнении монтажных операций является точность и стабильность крутящего момента, особенно при работе с резьбовыми соединениями. Недостаточная затяжка может привести к самопроизвольному ослаблению соединения в процессе эксплуатации, а чрезмерная — к повреждению резьбы или материала деталей. Поэтому качество инструментов, их техническое состояние и точная настройка имеют критически важное значение.

В связи с ростом требований к качеству и прослеживаемости операций в последние годы всё шире внедряются интеллектуальные (электронные) сборочные инструменты. Эти современные устройства обеспечивают:

Контроль и управление крутящим моментом с высокой точностью:

- Измерение угла закручивания болтов и винтов;
- Автоматическую регистрацию параметров операций с возможностью передачи данных в систему управления производством (MES);
- Связь с центральными серверами по Wi-Fi или Bluetooth для интеграции в цифровую систему качества;
- Предупреждение оператора о неверной затяжке при отклонении от допустимых пределов.

Такие интеллектуальные инструменты позволяют не только улучшить надёжность соединений, но и обеспечить трассируемость каждой сборочной операции — то есть возможность отслеживания, кем, когда и с какими параметрами было произведено конкретное соединение. Это особенно важно для автопроизводителей, работающих по стандартам ISO/TS 16949 и в условиях международной конкуренции.

Для повышения производительности также применяются балансирные системы, поддерживающие вес инструмента и уменьшающие утомляемость оператора. В местах, где необходима особенно высокая скорость и повторяемость операций, используются пневмо- и электроинструменты с предустановленными моментами затяжки и автоматическим отключением при достижении заданного значения.

Кроме того, в современных сборочных цехах активно внедряются эргономичные рабочие станции, в которых инструменты размещаются в удобной зоне досягаемости, а кабели и шланги фиксируются для обеспечения безопасности и снижения утомляемости.

2.2 Оснастка.

Оснастка в автомобильной промышленности — это специальные приспособления, устройства и инструменты, используемые для упрощения, ускорения и повышения точности сборочных и технологических операций. Она играет ключевую роль в обеспечении стабильности качества продукции, снижении трудозатрат и повышении эффективности производственных процессов.

Основные функции и преимущества оснастки. Обеспечение высокой точности. Оснастка позволяет надёжно фиксировать детали в строго заданном положении, обеспечивая соответствие геометрическим и сборочным допускам. Это особенно важно на операциях сварки кузова, сборки шасси, установки дверей и панелей, где требуется точное совмещение деталей без допусков на смещение. Пример: Сварочные кондукторы используются при сборке кузова для фиксации панелей в нужном положении перед сваркой. Они обеспечивают точное взаимное расположение элементов и исключают их деформацию.

Повышение производительности труда. Оснастка позволяет ускорить процессы установки, центрирования и закрепления деталей, тем самым сокращая общее время сборки. Рабочие могут выполнять операции быстрее и с меньшими усилиями. Пример: Позиционирующие шаблоны используются при установке стекол, фар и элементов интерьера — они задают точные координаты крепления, снижая вероятность ошибок.

Снижение уровня брака. Правильная фиксация деталей исключает перекосы и смещения, которые могли бы привести к образованию дефектов, особенно при сварке и механической обработке. Пример: Фиксаторы сварочных панелей и переходные плиты удерживают элементы в нужном положении, предотвращая образование зазоров, перекосов и деформаций в узле.

Обеспечение безопасности труда. Оснастка снижает физическую нагрузку на операторов и позволяет безопасно работать с тяжёлыми и габаритными деталями. Пример: Гидравлические или пневматические подъемные столы и опрокидыватели рам помогают безопасно монтировать крупные агрегаты, снижая риск получения травм.

Унификация и стандартизация процессов. Использование универсальной и стандартизированной оснастки на разных участках позволяет повысить воспроизводимость операций и ускорить переход на выпуск новых моделей. Пример: Модульные сборочные приспособления, которые можно быстро перенастроить под разные типы кузовов, позволяют адаптировать производство без значительных временных и финансовых затрат.

Снижение издержек. Стабильность операций, минимизация брака и ускорение процессов в совокупности позволяют снизить затраты на рабочую силу, энергию, материалы и переналадку оборудования. Пример: Универсальные сборочные столы и интерфейсные панели с автоматическим зажимом сокращают время на фиксацию и настройку, повышая рентабельность производства.

Адаптация к цифровым технологиям. Современная оснастка всё чаще разрабатывается с учётом цифровизации производства. В неё интегрируются датчики положения, модули обратной связи, а также возможности подключения к системам мониторинга и автоматического управления. Пример: Интеллектуальные сборочные платформы, подключённые к MES-системам, позволяют отслеживать состояние оборудования в реальном времени и управлять сборочными операциями на основе цифровых моделей (цифровых двойников).

2.3 Прогиб основания сварочной оснастки под нагрузкой.

Проверить, не произойдёт ли прогиба (деформации) основания сварочной оснастки под действием массы деталей и усилий прижима. Даже небольшой прогиб может привести к смещению элементов и нарушению точности сборки.

Исходные данные:

- Материал основания: Сталь Ст3.
- Длина основания: $L=1075$ мм.
- Ширина: 680 мм.
- Толщина основания: $h=10$ мм.
- Нагрузка от массы деталей и прижимов: $F=500$ Н.
- Поддержка основания: 2 опоры по краям.

Используем формулу для максимального прогиба балки:

$$f_{\max} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}, \quad (1)$$

Где:

$E=2 \cdot 10^5$ МПаЕ - модуль упругости стали.

Момент инерции сечения:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (1.1)$$

$$I = \frac{680 \cdot 10^3}{12} \approx 56667 \text{ мм}^4$$

$$f_{\max} = \frac{500 \cdot 1075^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 56667} = 1,14 \text{ мм}$$

Это выше стандартного допуска на точность позиционирования детали. В конструкции желательно усилить жёсткость основания, например:

- увеличить толщину плиты (с 10 до 12–15 мм);
- добавить рёбра жёсткости снизу;
- уменьшить пролёт между опорами.

2.4 Контрольно-измерительные инструменты и приспособления.

Для контроля точности применяются 3D-сканеры, координатно-измерительные машины (КИМ), лазерные трекеры и механические шаблоны. Они позволяют обнаружить отклонения на ранних стадиях и вносить корректировки в процесс сборки. Ведущее значение приобретает использование цифровых двойников, позволяющих моделировать и оптимизировать процесс ещё до начала физической сборки. Их интеграция стала не просто инструментом контроля, а фундаментом для инноваций, оптимизации и поддержания высоких стандартов, которыми славится современное автомобилестроение.

КИМ используются для контроля геометрических параметров кузовных панелей, сварных швов, штампованных деталей, пластиковых элементов и двигателей. Они позволяют выявлять малейшие отклонения от номинальных значений, предотвращая брак и обеспечивая идеальную стыковку всех компонентов. В автоматизированных сборочных линиях КИМ могут быть интегрированы в роботизированные комплексы для выполнения инспекции в режиме реального времени, обеспечивая 100% контроль качества ключевых узлов.

Контроль качества является одной из основных областей применения КИМ и 3D-сканеров в автомобильной промышленности. На финальных этапах сборки проводится комплексная проверка геометрии кузова, положения дверей, капота, багажника, а также внутренних элементов салона. 3D-сканеры позволяют быстро и точно получать полную картину геометрии автомобиля, выявляя даже незначительные отклонения, которые могут повлиять на аэродинамику, уровень шума и вибраций, а также на внешний вид. Полученные данные используются для оперативной корректировки производственных процессов и предотвращения повторения дефектов.

В производстве пресс-форм и штампов, используемых для изготовления кузовных деталей и других компонентов, КИМ обеспечивают высочайшую точность изготовления. Контроль геометрии рабочих поверхностей пресс-форм с помощью КИМ гарантирует получение деталей, полностью соответствующих конструкторской документации, что напрямую влияет на качество и точность выпускаемых автомобилей.

КИМ и 3D-сканеры также находят применение в контроле инструментальной оснастки, такой как сварочные кондукторы и сборочные приспособления. Регулярная проверка их геометрической точности позволяет поддерживать стабильность производственного процесса и предотвращать возникновение ошибок при сборке.

Интеграция КИМ и 3D-сканеров с другими цифровыми технологиями, такими как системы автоматизированного проектирования (CAD), создает единую информационную среду, обеспечивающую непрерывный поток данных о качестве на всех этапах жизненного цикла автомобиля. Это позволяет принимать обоснованные решения, оптимизировать производственные процессы и постоянно повышать качество выпускаемой продукции.

2.5 Основные технологии 3D-сканирования.

3D-сканер – это устройство, предназначенное для захвата геометрической формы физического объекта и преобразования его в цифровую 3D-модель. Существует несколько основных технологий 3D-сканирования, каждая из которых имеет свои особенности, но общий принцип заключается в регистрации пространственных координат множества точек на поверхности объекта.

Структурированное световое сканирование (Structured Light Scanning). Проектор проецирует на объект последовательность структурированных световых паттернов (например, полосы, сетки). Одна или несколько камер, расположенных рядом с проектором, фиксируют искажения этих паттернов на поверхности объекта. Анализируя деформацию проецируемых паттернов с разных ракурсов, программное обеспечение триангулирует положение каждой точки поверхности относительно камер и проектора, рассчитывая ее трехмерные координаты.

Обеспечивает высокую точность и детализацию, относительно быстрое сканирование. Хорошо подходит для объектов со сложной геометрией и мелкими деталями. Чувствителен к вибрациям и требует неподвижности объекта.

Лазерное сканирование (Laser Scanning). Лазерный излучатель генерирует лазерный луч, который сканирует поверхность объекта. Существует несколько подходов к определению расстояния до точки: Зная скорость света (которая является константой), расстояние до объекта вычисляется по формуле:

$$\text{Расстояние} = \frac{(\text{Скорость света} \cdot \text{Время полета})}{2}$$

Деление на 2 происходит потому, что измеренное время включает путь туда и обратно.

Времяпролетное лазерное сканирование (Time-of-Flight Laser Scanning). Измеряется время, которое требуется импульсу лазерного луча, чтобы достичь поверхности объекта и вернуться обратно. Зная скорость света, можно точно определить расстояние. Может работать на больших расстояниях, подходит для сканирования крупных объектов и целых сборочных линий. Времяпролетные сканеры обычно имеют меньшую точность, чем у аналогов.

Применение 3D-сканеров в автомобильной промышленности оказывает значительное влияние на повышение точности сборки на различных этапах.

Контроль качества деталей перед сборкой. Точное измерение геометрии: 3D-сканеры позволяют быстро и с высокой точностью измерять геометрические параметры отдельных деталей (кузовные панели, штампованные элементы, пластиковые детали). Сравнение полученных 3D-моделей с эталонными CAD-моделями позволяет выявлять отклонения в размерах, форме и расположении элементов до начала сборки. Сканирование может выявить поверхностные дефекты, такие как вмятины, выпуклости, неправильные изгибы, которые могут повлиять на качество сборки и внешний вид автомобиля. Раннее выявление

некондиционных деталей позволяет исключить их попадание на сборочную линию, что снижает вероятность возникновения проблем на более поздних этапах и уменьшает количество брака.

Контроль точности сборочных процессов. После установки отдельных деталей или узлов 3D-сканеры могут использоваться для проверки их точного положения относительно друг друга и кузова автомобиля. Это особенно важно для ответственных соединений, влияющих на безопасность и функциональность (например, установка силового агрегата, элементов подвески).

Анализ зазоров и стыков. Сканирование позволяет точно измерять зазоры между кузовными панелями, дверями, капотом и багажником, обеспечивая их соответствие эстетическим и аэродинамическим требованиям. Неравномерные зазоры могут указывать на неточность сборки или деформацию деталей.

Контроль геометрии сварных соединений. 3D-сканеры могут использоваться для оценки формы и размеров сварных швов, а также для выявления геометрических отклонений, которые могут свидетельствовать о нарушении технологии сварки.

Обратное проектирование и оптимизация оснастки. Создание точных моделей существующей оснастки: 3D-сканирование позволяет создавать цифровые модели сварочных кондукторов, сборочных приспособлений и другой оснастки. Сравнение этих моделей с исходными CAD-данными помогает выявлять износ или деформации, которые могут влиять на точность сборки. На основе данных сканирования можно вносить изменения в конструкцию оснастки для улучшения фиксации деталей и повышения точности сборки.

Виртуальная сборка и анализ интерференции. Созданные с помощью 3D-сканеров цифровые модели реальных деталей могут использоваться для виртуальной сборки в CAD-системах. Это позволяет выявлять потенциальные проблемы с сопряжением и интерференцией компонентов еще до физической сборки, что помогает избежать ошибок и повысить точность.

Контроль геометрии кузова после сварки. После сварки кузова 3D-сканеры могут использоваться для комплексной проверки его геометрических параметров, выявления деформаций, вызванных сварочными напряжениями, и контроля соответствия заданным размерам. Это критически важно для обеспечения безопасности и правильной установки навесных элементов.

Преимущества использования 3D-сканеров для повышения точности сборки. Сканеры могут быстро захватывать большое количество данных, что значительно сокращает время контроля по сравнению с традиционными методами. В отличие от контактных измерений отдельных точек, 3D-сканирование обеспечивает полное цифровое представление поверхности объекта.

Многие технологии 3D-сканирования не требуют физического контакта с объектом, что исключает возможность его повреждения, особенно при контроле окрашенных или хрупких деталей. Также 3D-сканеры могут быть интегрированы в автоматизированные системы контроля качества, что повышает производительность и исключает человеческий фактор.

2.6 Координатно-измерительные машины.

Координатно-измерительные машины (КИМ) представляют собой высокоточные измерительные системы, используемые для определения физических геометрических характеристик объекта. Они играют ключевую роль в автомобильном производстве, обеспечивая контроль качества, оптимизацию производственных процессов и повышение точности сборки.

Принцип работы КИМ: Основной принцип работы КИМ заключается в точном определении координат точек на поверхности объекта в трехмерной системе координат (X, Y, Z). Это достигается путем перемещения измерительной головки с датчиком (щупом) вдоль трех ортогональных осей. Система машины регистрирует положение головки в каждый момент времени, и при контакте щупа с поверхностью объекта фиксируются координаты этой точки.

Процесс измерения включает следующие этапы:

- Фиксация объекта. Измеряемый объект надежно закрепляется на рабочем столе КИМ.
- Программирование траектории измерения. Оператор (или программное обеспечение) определяет последовательность точек, которые необходимо измерить на поверхности объекта. Эта траектория может быть основана на САД-модели объекта или на определенных геометрических элементах.
- Перемещение измерительной головки. Приводная система КИМ точно перемещает измерительную головку вдоль осей X, Y и Z в соответствии с заданной траекторией.

Сбор данных:

Контактные КИМ. Щуп касается поверхности объекта в запрограммированных точках. В момент контакта срабатывает датчик, и система регистрирует текущие координаты положения головки.

Бесконтактные КИМ. Вместо физического контакта используются различные датчики, такие как лазерные сканеры или оптические датчики, которые измеряют расстояние до поверхности объекта без прямого касания.

Обработка данных. Собранные координаты точек передаются в специализированное программное обеспечение. Это ПО выполняет различные операции, такие как: Создание облака точек, представляющего поверхность объекта.

- Вычисление геометрических параметров (размеры, углы, расстояния, формы).
- Сравнение измеренных данных с номинальными значениями из САД-моделей или чертежей.
- Визуализация отклонений с помощью цветowych карт или графиков.
- Генерация отчетов о контроле качества.

Виды координатно-измерительных машин. КИМ классифицируются по различным параметрам, включая их конструкцию и тип используемого датчика:

По конструкции:

- Мостовые КИМ. Наиболее распространенный тип. Измерительная головка перемещается по мосту, который, в свою очередь, перемещается по

направляющим, установленным на основании. Обеспечивают высокую точность и большой рабочий объем.

- Консольные КИМ. Измерительная головка установлена на консоли, которая перемещается по одной или двум осям. Подходят для измерения средних и небольших деталей, обеспечивают хороший доступ к измеряемой поверхности.

- Портальные КИМ. Объект располагается между двумя вертикальными стойками, соединенными поперечной балкой, по которой перемещается измерительная головка. Используются для измерения очень крупных и тяжелых деталей.

- Горизонтальные рычажные КИМ. Измерительная головка перемещается вдоль горизонтальной рычажной конструкции. Применяются для измерения крупногабаритных деталей, особенно кузовов автомобилей и их элементов.

- Ручные/Портативные КИМ. Легкие и мобильные устройства, которые оператор перемещает вокруг измеряемого объекта. Могут иметь шарнирно-сочлененную конструкцию с контактным щупом или быть оснащены лазерным сканером. Обеспечивают гибкость и возможность измерения непосредственно на производственной линии.

По типу датчика:

- Контактные КИМ. Используют физический контакт щупа с поверхностью объекта для сбора данных. Щупы могут быть жесткими или иметь возможность наклона и вращения для доступа к сложным элементам.

- Бесконтактные КИМ. Используют различные бесконтактные датчики.

Как КИМ помогают улучшить точность сборки на автомобильном производстве. КИМ играют решающую роль в повышении точности сборки автомобилей на различных этапах производственного процесса:

- Контроль качества входящих деталей. КИМ используются для проверки геометрических параметров деталей, поставляемых от сторонних поставщиков (штампованные детали, пластиковые элементы, литье). Это гарантирует соответствие деталей требованиям конструкторской документации до того, как они попадут на сборочную линию, предотвращая использование некачественных компонентов.

- Контроль качества штампов и пресс-форм. Высокая точность изготовления штампов и пресс-форм является критически важной для получения качественных кузовных панелей и других деталей. КИМ используются для контроля геометрии рабочих поверхностей оснастки, выявления отклонений и обеспечения соответствия требованиям.

- Контроль точности сварных сборочных единиц. КИМ применяются для проверки геометрических параметров сварных кузовов, подрамников и других сборочных единиц. Они позволяют контролировать размеры, форму, расположение сварных точек и выявлять деформации, вызванные сварочными процессами.

- Контроль геометрии кузова на различных этапах сборки. На сборочной линии КИМ (особенно портальные и горизонтальные рычажные) используются для контроля геометрии кузова после различных этапов сварки и сборки. Это

позволяет выявлять отклонения на ранних стадиях и оперативно корректировать производственные процессы.

- Контроль положения точек крепления и отверстий. КИМ обеспечивают точное измерение расположения точек крепления двигателей, подвески, элементов салона и других компонентов. Это гарантирует правильную и надежную сборку, исключая проблемы с соосностью и совместимостью деталей.

- Контроль зазоров и стыков кузовных панелей. КИМ с бесконтактными датчиками могут использоваться для точного измерения зазоров между кузовными панелями, дверями, капотом и багажником. Это важно для обеспечения эстетического вида автомобиля, аэродинамических характеристик и предотвращения шумов.

- Калибровка и контроль сборочной оснастки. КИМ используются для калибровки и периодической проверки точности сборочных кондукторов, фиксаторов и других приспособлений, обеспечивая стабильность и точность сборочных операций.

- Автоматизированный контроль качества. КИМ могут быть интегрированы в автоматизированные производственные линии с роботизированными системами для выполнения контроля качества в режиме реального времени, повышая скорость и точность проверки.

Внедрение и эффективное использование КИМ в автомобильном производстве позволяет:

- Снизить процент брака. Точный контроль деталей и сборочных единиц на ранних этапах позволяет выявлять и устранять дефекты до того, как они приведут к дорогостоящим переделкам или отзыву продукции.

- Повысить качество сборки. Обеспечение точного соответствия деталей и сборочных единиц требованиям конструкторской документации гарантирует высокое качество конечного продукта.

- Оптимизировать производственные процессы. Данные, полученные с помощью КИМ, могут быть использованы для анализа причин возникновения отклонений и внесения корректировок в технологические процессы.

- Сократить время цикла производства. Автоматизированные системы контроля на базе КИМ позволяют проводить измерения быстро и эффективно.

- Улучшить взаимодействие между проектированием и производством. Сравнение фактических деталей с CAD-моделями обеспечивает обратную связь для конструкторов и технологов.

- Соответствовать строгим стандартам качества. Автомобильная промышленность предъявляет высокие требования к точности и безопасности, и КИМ помогают производителям соответствовать этим стандартам.

2.7 Аддитивные технологии для изготовления оснастки.

Аддитивные технологии (3D-печать) совершают революцию в различных отраслях промышленности, включая автомобилестроение, и находят все более широкое применение в изготовлении специализированной сборочной оснастки. Традиционные методы производства оснастки, такие как механическая

обработка, могут быть дорогостоящими и занимать много времени, особенно при изготовлении сложных геометрических форм или небольших партий. Аддитивные технологии предлагают ряд значительных преимуществ:

- Быстрое прототипирование и производство. 3D-печать позволяет изготавливать прототипы оснастки и готовые изделия значительно быстрее, чем традиционные методы. Это сокращает время цикла разработки и внедрения новых производственных процессов.

Производство сложных геометрий. Аддитивные технологии позволяют создавать оснастку со сложными внутренними каналами, криволинейными поверхностями и другими элементами, которые трудно или невозможно изготовить традиционными способами. Это открывает новые возможности для оптимизации конструкции оснастки с точки зрения эргономики, веса и функциональности.

Индивидуализация и кастомизация. 3D-печать идеально подходит для изготовления уникальной оснастки, адаптированной под конкретные детали или сборочные операции. Это позволяет создавать более эффективные и эргономичные решения для рабочих.

Снижение затрат на мелкосерийное производство. Для небольших партий оснастки 3D-печать может быть более экономичным решением, чем традиционные методы, так как отсутствует необходимость в изготовлении дорогостоящих пресс-форм или штампов.

Использование различных материалов. Современные 3D-принтеры могут работать с широким спектром материалов, включая различные виды пластика, композитов и металлов, что позволяет выбирать оптимальный материал для конкретной задачи с учетом требований к прочности, износостойкости и термостойкости оснастки.

В автомобилестроении аддитивные технологии успешно применяются для изготовления:

- Сборочных кондукторов и фиксаторов. Для точного позиционирования деталей во время сварки, склеивания или механической сборки.
- Шаблонов и калибров. Для контроля геометрических параметров деталей и собранных узлов.
- Эргономичной оснастки. Специализированных ручек, захватов и других приспособлений, разработанных с учетом антропометрических данных рабочих для снижения утомляемости и повышения производительности.
- Запасных частей для оборудования. Быстрое изготовление вышедших из строя элементов оснастки позволяет сократить время простоя производственной линии.

2.8 Беспроводные интеллектуальные инструменты.

Современные сборочные линии все чаще оснащаются беспроводными интеллектуальными инструментами, которые обеспечивают не только высокую точность выполнения операций, но и интеграцию с системами управления

производством (MES) для контроля и прослеживаемости каждого соединения.

К таким инструментам относятся:

- Беспроводные моментные ключи. Позволяют точно контролировать и регистрировать момент затяжки резьбовых соединений. Данные о моменте затяжки, угле поворота и времени выполнения операции могут передаваться в центральную систему для анализа и контроля качества.
- Беспроводные шуруповёрты и гайковерты с обратной связью. Обеспечивают точное закручивание крепежных элементов на заданную глубину или с заданным усилием. Инструменты могут быть оснащены датчиками, контролирующими усилие и положение, а также системами предотвращения ошибок (например, блокировка при неправильном угле установки).
- Беспроводные клепальные инструменты с контролем усилия. Гарантируют правильную установку заклепок с заданным усилием сжатия. Данные о процессе клепки могут регистрироваться для обеспечения прослеживаемости.
- Интеллектуальные ручные инструменты с RFID-метками. Интеграция RFID-меток в ручные инструменты позволяет отслеживать их использование, проводить своевременное обслуживание и предотвращать использование неподходящего инструмента для конкретной операции.

Преимущества использования беспроводных интеллектуальных инструментов включают:

- Повышение точности и качества сборки. Точный контроль параметров выполнения операций исключает ошибки, связанные с человеческим фактором.
- Улучшение прослеживаемости. Регистрация данных о каждой операции обеспечивает полную прослеживаемость процесса сборки и позволяет быстро выявлять потенциальные проблемы.
- Повышение производительности. Беспроводное исполнение инструментов обеспечивает большую мобильность рабочих.
- Снижение риска ошибок. Инструменты могут быть запрограммированы на выполнение только определенных операций и блокироваться при попытке неправильного использования.
- Интеграция с MES. Передача данных в режиме реального времени позволяет осуществлять мониторинг производственного процесса и принимать оперативные решения.

2.9 Сравнение точности затяжки.

Как применение интеллектуального динамометрического ключа позволяет повысить точность затяжки болтовых соединений за счёт снижения разброса крутящего момента и обеспечивать стабильное натяжение крепёжных элементов, критичное для точности и надёжности сборки.

Исходные данные:

- Номинальный момент затяжки болта: $M_{ном} = 80 \text{ Нм}$
- Погрешность механического динамометрического ключа: $\varepsilon_{мех} = \pm 6\%$
- Погрешность интеллектуального динамометрического ключа: $\varepsilon_{инт} = \pm 1\%$

- Диаметр резьбы болта: $d=12$ мм
- Коэффициент трения в резьбе и подголовке болта: $K \approx 0.2$
- Коэффициент трения в резьбе $\mu=0.15$

1. Расчёт допустимого диапазона затяжки:

Обычный ключ: $M_{\min}=80-6\%=75,2$ Нм, $M_{\max}=84,8$ Нм

Интеллектуальный ключ: $M_{\min}=80-1\%=79,2$ Нм, $M_{\max}=80,8$ Нм

2. Расчёт осевого натяжения болта:

$$F = \frac{M}{K \cdot d}, \quad (2)$$

Обычный ключ:

$$F_{\max} = \frac{84,8}{0,2 \cdot 0,012} = 35333 \text{ Н}$$

$$F_{\min} = \frac{75,2}{0,2 \cdot 0,012} = 31333 \text{ Н}$$

Разброс усилия:

$$\Delta F_{\text{мех}} = 35333 - 31333 = 4000 \text{ Н} \Rightarrow \frac{4000}{33333} \approx 12\%$$

Для интеллектуального ключа:

$$F_{\max} = \frac{80,8}{0,2 \cdot 0,012} = 33667 \text{ Н}$$

$$F_{\min} = \frac{79,2}{0,2 \cdot 0,012} = 33000 \text{ Н}$$

Разброс усилия:

$$\Delta F_{\text{инт}} = 33667 - 33000 = 667 \text{ Н} \Rightarrow \frac{667}{33333} \approx 2\%$$

Использование интеллектуального динамометрического ключа снижает разброс натяжения болтов в 6 раз что прямо влияет на:

- стабильность предварительного натяга;
- снижение вероятности ослабления;
- равномерность распределения усилий в соединении.

2.10 Системы автоматической смены инструмента.

Для повышения гибкости и эффективности автоматизированных сборочных линий все чаще используются системы автоматической смены инструмента. Эти системы позволяют роботизированным манипуляторам быстро и автоматически менять рабочие инструменты (захваты, сварочные клещи, сверлильные головки, моментные ключи и т.д.) в зависимости от выполняемой операции.

Основные компоненты системы автоматической смены инструмента включают:

- Мастер-сторона (на роботе). Механизм, установленный на запястье робота, обеспечивающий надежное соединение с инструментом и передачу энергии (электрической, пневматической) и сигналов управления.
- Инструментальная сторона (на инструменте). Ответная часть механизма, установленная на каждом используемом инструменте.
- Стойка хранения инструментов. Место, где хранятся инструменты, не используемые в данный момент.
- Система управления. Обеспечивает координацию движений робота и механизмов смены инструмента.

Преимущества использования систем автоматической смены инструмента:

- Повышение гибкости производственной линии. Один робот может выполнять несколько различных операций без участия человека.
- Сокращение времени цикла. Автоматическая смена инструмента происходит значительно быстрее, чем ручная.
- Увеличение производительности. Устранение простоев, связанных со сменой инструмента, повышает общую производительность линии.
- Оптимизация использования оборудования:
- Один робот с несколькими инструментами может заменить несколько специализированных станций.
- Улучшение качества. Точное позиционирование инструмента роботом обеспечивает стабильное качество выполняемых операций.

В автомобилестроении системы автоматической смены инструмента широко применяются на роботизированных линиях сварки кузовов, сборки двигателей, установки навесного оборудования и других операциях, требующих использования различных типов инструментов.

3 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ

3.1 Повышение точности и сокращение брака.

Применение высокоточной оснастки и современных средств контроля значительно снижает уровень брака и обеспечивает стабильность геометрических параметров сборки. По данным практических исследований, внедрение роботизированных сборочных систем позволяет уменьшить производственные отклонения в размерах деталей на 30–50%. Особенно важную роль играют интеллектуальные измерительные системы, которые в режиме реального времени фиксируют любые отклонения от допустимых норм. Это делает производственный процесс более гибким и позволяет оперативно вносить корректировки, тем самым минимизируя риски появления дефектов на более поздних этапах.

3.2 Экономическая эффективность внедрения специализированных приспособлений.

Хотя автоматизация сборки и внедрение интеллектуальных инструментов требуют значительных первоначальных инвестиций, они быстро окупаются за счёт комплексного повышения эффективности производства. Среди основных экономических выгод можно выделить:

- снижение затрат на исправление брака и переделки;
- сокращение времени сборки за счёт уменьшения числа ручных операций;
- повышение производительности труда на 15–30%;
- уменьшение простоев оборудования.

В большинстве случаев срок окупаемости автоматизированных сборочных приспособлений не превышает трёх лет. Кроме того, стандартизация сборочных процессов позволяют снизить затраты на обучение персонала и упростить переход на выпуск новых моделей.

3.3 Перспективы внедрения интеллектуальных инструментов.

Современное автомобилестроение активно движется в сторону внедрения адаптивных интеллектуальных систем, способных подстраиваться под конкретные условия сборки в режиме реального времени.

Сюда входят:

- системы машинного зрения, обеспечивающие визуальный контроль качества;
- датчики усилия и положения, позволяющие контролировать параметры сборки с высокой точностью;
- элементы искусственного интеллекта, анализирующие большие объёмы производственных данных.

Такие системы особенно актуальны для гибкого производства и выпуска автомобилей с высокой степенью индивидуализации, где требуется

максимальная точность при минимальных допусках. Применение технологий предиктивной аналитики позволяет прогнозировать возможные отклонения и неисправности ещё до их фактического появления, что кардинально повышает надёжность процессов.

3.4 Влияние зазора в отверстии на точность установки детали.

У нас есть приспособление, в котором деталь фиксируется с помощью цилиндрического штифта, входящего в отверстие детали. Между штифтом и отверстием может быть небольшой зазор — это и есть люфт. Нужно понять, насколько этот люфт может сместить деталь, и определить максимально допустимый зазор, чтобы точность установки оставалась в допуске. Допуск на позиционирование детали по координате $X \pm 0.3$ мм. Зазор между отверстием и штифтом равен:

$$\delta = \frac{D - d}{2}, \quad (3)$$

Где:

D - диаметр отверстия

d — 10мм, штифта

Если штифт тоньше отверстия, то деталь может сместиться в пределах зазора. Максимальное возможное смещение будет равно величине зазора.

Чтобы сохранить точность сборки, нужно:

$$X \leq 0.3 \text{ мм} \Rightarrow \delta \leq 0.3 \text{ мм}$$

Расчёт допустимого диаметра отверстия:

$$D \leq d + 2 \cdot \delta = 10 + 2 \cdot 0.3 = 10.6 \text{ мм}$$

Чтобы обеспечить допуск по координате ± 0.3 мм, диаметр отверстия в детали должен быть не более 10.6 мм, если используется штифт диаметром 10 мм. Тогда возможное смещение детали в пределах люфта не приведёт к нарушению точности.

3.5 Применение шаблона для установки панели приборов.

Назначение и особенности конструкции. Панель приборов (торпеда) является одной из самых габаритных и функционально насыщенных деталей салона автомобиля. Её установка требует высокой точности: отклонения в несколько миллиметров могут привести к нарушению геометрии, затруднению крепления элементов и сбоям в работе электроники.

Для обеспечения точности и повторяемости операций используется направляющий шаблон, представляющий собой лёгкую жёсткую раму, соответствующую контуру панели. Он позволяет оператору точно позиционировать панель относительно кузова автомобиля, упрощает установку и исключает ошибки, связанные с человеческим фактором.

Технические параметры и расчёт нагрузки. С учётом всех компонентов панели — каркаса, жгутов, воздухопроводов, электроники и декоративных накладок — максимальная масса торпеды составляет 22 кг. При установке оператор дополнительно прилагает усилие, требующее закладывать запас прочности.

Формула:

$$F = mgk, \quad (4)$$

Где:

- $m=22$ кг, масса панели;
- $g=9.81$ м/с², ускорение свободного падения;
- $k=1,5$, коэффициент запаса.

Подстановка:

$$F=22 \cdot 9.81 \cdot 1.5 \approx 323,73 \text{ Н}$$

Итог: шаблон должен выдерживать нагрузку не менее 330 Н

Таблица 1 - Сравнение материалов шаблона

Параметр	Полиамид ПА6	АБС-пластик	Алюминий 6061	Углепластик (карбон)
Плотность, г/см ³	1.15	1.04	2.70	1.60
Масса шаблона, кг	1.61	1.45	3.78	2.24
Прочность на изгиб, МПа	70	45	270	600–1000
Стоимость	13 700	8 700	7 560	89 600
Жёсткость и стабильность	Средняя	Низкая	Высокая	Очень высокая
Эргономика для оператора	Отличная	Отличная	Удовлетворительная	Высокая

Важно отметить. Материалы полиамид (ПА6) и алюминий 6061 обеспечивают достаточную прочность конструкции шаблона. Например, изгибная прочность полиамида (~70 МПа) при поперечном сечении даже 10×10 мм даёт теоретическую прочностную границу свыше 700 Н, что более чем в два раза превышает расчётную нагрузку в 330 Н. Это подтверждает их полную пригодность для условий работы шаблона на сборочном посту.

Расчёт повышения производительности. До внедрения шаблона установка панели занимала шестнадцать минут. С использованием шаблона время сократилось на 25%.

Обозначения:

- $T_{\text{СТ}}$ - 16 мин, старое время установки;
- $T_{\text{НОВ}}$ - 12 мин, новое время;
- $T_{\text{СМ}}$ - длительность смены;
- $N_{\text{СТ}}$ - 30 шт, количество машин за смену до;
- $N_{\text{НОВ}}$ - количество машин после;
- K — коэффициент прироста производительности.

Расчёты:

1. Длительность смены:

$$T_{\text{СМ}} = T_{\text{СТ}} \cdot N_{\text{СТ}}, \quad (4.1)$$

$$T_{\text{СМ}} = 16 \cdot 30 = 480 \text{ мин}$$

2. Количество машин с шаблоном:

$$N_{\text{нов}} = \frac{T_{\text{см}}}{T_{\text{нов}}}, \quad (4.2)$$

$$\frac{480}{12} = 40 \text{ машин}$$

3. Рост производительности:

$$K = \frac{N_{\text{нов}}}{N_{\text{ст}}}, \quad (4.3)$$

$$\frac{40}{30} \approx 1,33$$

Применение направляющего шаблона для установки панели приборов позволило:

- Повысить точность и стабильность установки;
- Сократить время операции с шестнадцати до двенадцати минут;
- Увеличить производительность поста на тридцать три процента;
- Обеспечить лёгкое ручное использование и минимизировать брак.

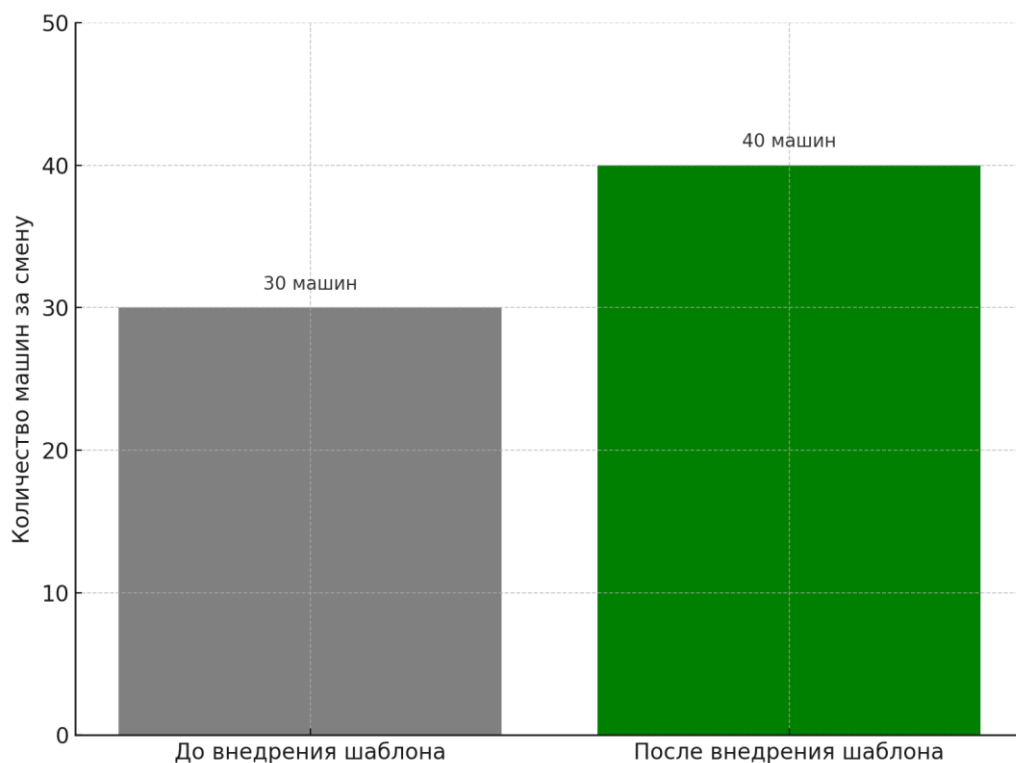


График 1 - Сравнение производительности поста установки панели приборов до и после внедрения направляющего шаблона.

Выбор полиамида ПА6 или алюминия в качестве материала полностью оправдан технически: оба варианта выдерживают нагрузку в 330 Н и выше, соответствуют условиям цеха и легко реализуются с применением современных технологий (3D-печать, фрезеровка). Таким образом, использование шаблона повышает не только точность, но и экономическую эффективность сборки.

4 РОБОТИЗАЦИЯ В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

4.1 Значение и возможности роботизации.

Роботизация становится неотъемлемой частью современного автомобилестроения, позволяя повысить точность, производительность и надёжность сборочных процессов. Современные промышленные роботы способны выполнять широкий спектр задач — от сварки и окраски до монтажа компонентов и контроля качества — с высокой степенью повторяемости и минимальной погрешностью.

Одним из примеров передовых решений в этой области является серия промышленных роботов KUKA KR QUANTEC, отличающаяся высокой грузоподъёмностью, универсальностью и компактной конструкцией. Эти роботы находят применение в различных отраслях — от автомобильной до медицинской — благодаря адаптивности к условиям работы и широкому функционалу.

Среди ключевых преимуществ серии KR QUANTEC:

- высокая точность позиционирования и стабильность работы при длительных циклах;
- высокая степень защиты и устойчивость к агрессивным условиям окружающей среды;
- интеграция с цифровыми системами управления и промышленными сетями.

Особо стоит отметить длительный межсервисный интервал — до 20 000 часов без необходимости технического обслуживания, что значительно снижает эксплуатационные издержки.

4.2 Экономический анализ роботизации.

Для оценки экономической эффективности внедрения одного промышленного робота рассмотрим полный цикл затрат, включая приобретение, установку, программирование и эксплуатационные расходы. (в таблице 2, 3)

Таблица 2 - Дополнительные затраты на внедрение.

Показатель	Значение
Стоимость робота (например, KUKA KR QUANTEC)	52 000 000 тенге
Количество заменяемых рабочих	3 человека
Годовая зарплата одного рабочего	4 800 000 тенге
Срок службы робота	10 лет
Рабочие часы в год	5840 часов
Межсервисный интервал	20 000 часов

Таблица 3 – Затраты.

Статья расходов	Примерная стоимость (тенге)
Инжиниринг и проектирование ячейки	4 000 000
Подготовка фундамента и монтаж	3 000 000
Приобретение периферии (захваты, датчики и др.)	6 000 000
Программирование и отладка	3 500 000
Интеграция с производственными системами (MES, ERP)	2 500 000
Обучение операторов и наладчиков	1 000 000
ИТОГО дополнительных расходов	20 000 000

Совокупная стоимость проекта:

- Основной робот: 52 000 000 тенге
- Сопутствующие расходы: 20 000 000 тенге
- Общая стоимость: 72 000 000 тенге

Экономия на заработной плате:

$$N_{\text{год}} = N_{\text{раб}} \cdot C_{\text{зп}}, \quad (5)$$

Где:

$N_{\text{год}}$ - экономия на заработной плате в год;

$N_{\text{раб}}$ - количество заменяемых рабочих;

$C_{\text{зп}}$ - годовая зарплата одного рабочего.

$$3 \text{ рабочих} \cdot 4\,800\,000 \text{ тенге} = 14\,400\,000 \text{ тенге/год}$$

Чистая экономия в год:

$$N_{\text{чэ}} = N_{\text{год}} \cdot P_{\text{год}}, \quad (5.1)$$

Где:

$N_{\text{год}}$ - экономия на заработной плате в год;

$P_{\text{год}}$ - затраты в год (2 600 000(обслуживание)+600 000(электроэнергия));

$N_{\text{чэ}}$ - чистая экономия в год.

$$14\,400\,000 - 3\,200\,000 = 11\,200\,000 \text{ тенге/год}$$

Расчёт срока окупаемости:

$$O_{\text{окуп}} = \frac{N_{\text{общ}}}{N_{\text{год}}}, \quad (5.2)$$

Где:

$N_{\text{общ}}$ - общая стоимость;

$N_{\text{год}}$ - экономия на заработной плате в год;

$O_{\text{окуп}}$ - срок окупаемости.

$$\frac{72\,000\,000}{11\,200\,000} \approx 6,4 \text{ год}$$

Для расчётов приняты средние затраты на техническое обслуживание промышленного робота в размере 5% от стоимости оборудования в год, что составляет 2,6 млн тенге. Эти данные основаны на среднерыночной практике эксплуатации промышленных роботов компаний KUKA, FANUC и ABB.

Обслуживание робота:

$$52000000 \cdot 0,05 = 2600000 \text{ тенге/год}$$

Долгосрочный экономический эффект, за 10 лет эксплуатации:

Общая экономия:

$$11\,200\,000 \cdot 10 = 112\,000\,000 \text{ тг}$$

Чистая прибыль после окупаемости:

$$112\,000\,000 - 72\,000\,000 = 40\,000\,000 \text{ тг}$$

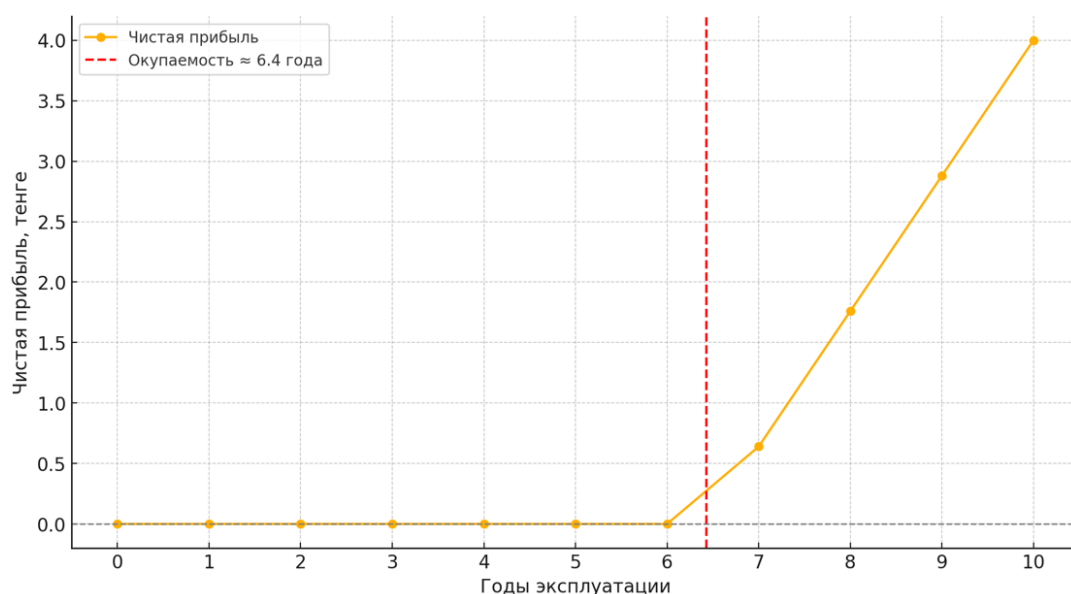


График 2 - Окупаемости проекта по внедрению промышленного робота.

Внедрение промышленного робота с общей стоимостью 72 млн тенге позволяет добиться:

- Уменьшения потребности в ручном труде;
- Годовой чистой экономии в 11.2 млн тенге;
- Срока окупаемости — 6.4 года, что является приемлемым показателем для автоматизации сборочных операций;
- Чистой прибыли после возврата инвестиций — 40 млн тенге за 10 лет эксплуатации.

Таким образом, проект по внедрению промышленного робота является экономически оправданным и способствует снижению себестоимости сборки, а также повышению общей эффективности производственного процесса.

4.3 Дополнительные выгоды внедрения промышленных роботов.

Помимо прямой экономии на заработной плате, роботизация даёт ряд стратегических преимуществ:

- Повышение производительности. Роботы способны работать непрерывно 24/7 без перерывов, что увеличивает объём выпуска продукции.
- Снижение уровня брака. Автоматизация сводит к минимуму человеческий фактор, тем самым улучшая стабильность качества.
- Унификация и стандартизация. Использование роботов обеспечивает единообразие технологических операций, снижая вариативность продукции.
- Гибкость в производстве. Современные роботы легко перепрограммируются под новые задачи, что особенно важно при частой смене модельного ряда автомобилей.

Улучшение условий труда: тяжелые и опасные операции переходят к роботам, снижая нагрузку и риск для персонала.

Тем не менее, в долгосрочной перспективе эти затраты компенсируются за счёт повышения эффективности, сокращения издержек и стабилизации качества продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования установлено, что применение современных инструментов, оснастки и автоматизированных систем играет ключевую роль в обеспечении высокой точности сборки автомобилей и улучшении качества готовой продукции. Использование специальных приспособлений позволяет не только минимизировать человеческий фактор, но и стандартизировать технологические процессы, что особенно важно при массовом производстве.

Внедрение роботизированных систем, интеллектуальных измерительных комплексов и адаптивных кондукторов обеспечивает стабильность геометрических параметров, снижает уровень брака и увеличивает производственную эффективность. Проведённый экономический анализ показал, что, несмотря на значительные первоначальные инвестиции, роботизация производственных процессов имеет приемлемый срок окупаемости (около 3–5 лет) за счёт снижения затрат на труд, уменьшения числа переделок и увеличения производительности. Дополнительные преимущества включают снижение простоев оборудования и повышение операционной гибкости.

Особое внимание в работе уделено перспективным направлениям развития. Интеграция искусственного интеллекта, цифровых двойников, систем машинного зрения и дополненной реальности открывает новые горизонты в проектировании и сборке автомобилей. Эти технологии позволяют осуществлять предиктивный контроль качества, моделировать процессы в цифровой среде, оптимизировать производственные параметры и оперативно реагировать на отклонения.

При этом роботизация оказывает комплексное воздействие на рынок труда. С одной стороны, она снижает потребность в работниках, выполняющих рутинные и физически тяжёлые операции. С другой стороны, создаются новые рабочие места в областях, связанных с программированием, техническим обслуживанием и внедрением автоматизированных систем. В этих условиях важным становится развитие системы подготовки кадров, включая переквалификацию действующего персонала, обучение специалистов в области мехатроники, робототехники и информационных технологий.

Таким образом, для достижения устойчивого технологического и экономического эффекта в автомобильной промышленности необходимо не только внедрять современные сборочные технологии, но и обеспечивать их интеграцию с интеллектуальными системами управления, одновременно формируя кадровую базу, способную сопровождать эти изменения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плотников И.В. "Технология машиностроения". Машиностроение, 2020.
2. Сидоров А.Н. "Инструменты и приспособления в машиностроении" Питер, 2019.
3. Стандарты и технические регламенты автоконцернов Toyota, Volkswagen
4. Власов Д.С. "Цифровизация производства и индустрия 4.0 в машиностроении". — М.: Научный мир, 2021.
5. Семёнов К.Г. "Интеллектуальные системы контроля и управления в промышленности". — Казань: Казанский техн. ун-т, 2022.
6. Н.И. Кравченко — "Технологическая оснастка: проектирование, применение, эффективность", 2022.
7. Кудрявцев, В. Н. Автоматизация машиностроительных производств / В. Н. Кудрявцев. — М.: Инфра-М, 2018.
8. Седов, Ю. П. Средства технологического оснащения машиностроительных производств / Ю. П. Седов. — М.: Лань, 2021.
9. Абрамов, А. Н. Точность в машиностроении: теория и практика / А. Н. Абрамов. — М.: Машиностроение, 2017.
10. Гусев, В. И. Организация и технология сборки автомобилей / В. И. Гусев. — М.: Академия, 2019.
11. Чекмарев, А. А. Основы точности в машиностроении, 2015.
12. kuka.com