



Барьеры формирования стратегии кадрового обеспечения автомобильной промышленности: эмпирический анализ легкового автомобилестроения Индии методами ISM и MICMAC

А. Тхагран^{1,2}
Р. С. Ратор³
Н. Сангхи⁴
В. Махешвари⁵
С. Л. Сахдев^{6,7}

¹ Национальный университет Тайваня (Тайбэй, Тайвань)

² Academia Sinica (Тайбэй, Тайвань)

³ Кардиффский столичный университет (Кардифф, Великобритания)

⁴ Paybooks (Бангалор, Индия)

⁵ Веллорский технологический институт (Веллор, Индия)

⁶ Университет Альянса (Карнатака, Индия)

⁷ Университет Эмити (Нойда, Индия)

Аннотация

Современная автомобильная промышленность Индии, переживающая стремительную цифровую трансформацию, остро нуждается в квалифицированных кадрах, способных работать с новыми технологиями. Однако существует целый ряд барьеров, препятствующих эффективному формированию кадрового потенциала в текущих условиях. Цель настоящего исследования заключается в анализе взаимосвязей и иерархической структуры этих барьеров на примере отрасли легкового автомобилестроения Индии. Данные для анализа были собраны в ходе полуструктурированных интервью, проведенных в период с апреля 2024 по июль 2025 года с участием топ-менеджеров ведущих автомобильных компаний и представителей академического сообщества, имеющих публикации по этой тематике в авторитетных международных изданиях в области бизнеса, менеджмента и экономики. Из сорока потенциальных респондентов, с которыми связались по электронной почте и через LinkedIn, письменное согласие на участие в интервью дали десять человек. Ответы были расшифрованы и подвергнуты тематическому анализу, что позволило выявить десять ключевых барьеров, влияющих на развитие кадрового потенциала в условиях цифровой трансформации автомобильной промышленности. С помощью инструмента ISM (интерпретативное структурное моделирование) была определена иерархическая структура этих барьеров, а анализ MICMAC позволил классифицировать их по степени зависимости и силе влияния. К числу определяющих барьеров можно отнести слабо развитую образовательную инфраструктуру, низкий уровень взаимодействия отрасли и науки, а также неэффективность государственной политики. Кроме того, были выявлены и другие, во многом зависящие от определяющих, барьеры, в том числе нехватка кадров с необходимыми цифровыми компетенциями, высокая стоимость программ повышения квалификации, недостаточная готовность персонала к изменениям и сопротивление преобразованиям со стороны организаций. Такое структурированное видение проблемы предоставляет органам государственной власти, руководителям предприятий и представителям системы образования важную информацию, необходимую для разработки адресных мер, направленных на укрепление системы подготовки кадров для цифровой трансформации легкового автомобилестроения Индии.

Ключевые слова: интерпретативное структурное моделирование, ISM, анализ MICMAC, Индия, полуструктурированные интервью, взаимодействие отрасли и науки

Для цитирования:

Тхагран А., Ратор Р.С., Сангхи Н., Махешвари В., Сахдев С.Л. (2026). Барьеры формирования стратегии кадрового обеспечения автомобильной промышленности: эмпирический анализ легкового автомобилестроения Индии методами ISM и MICMAC. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 17(1): 35–46. DOI: 10.17747/2618-947X-2026-1-35-46.

Barriers to Workforce Strategy Development in the Automotive Industry: An Empirical Analysis of the Indian Passenger Vehicle Sector Using ISM and MICMAC

A. Thakran^{1,2}
R.S. Rathore³
N. Sanghi⁴
V. Maheshwari⁵
S.L. Sahdev^{6,7}

¹ National Taiwan University (Taipei, Taiwan)

² Academia Sinica (Taipei, Taiwan)

³ Cardiff Metropolitan University (Cardiff, United Kingdom)

⁴ Paybooks (Bangalore, India)

⁵ Vellore Institute of Technology (Vellore, India)

⁶ Alliance University (Karnataka, India)

⁷ Amity University (Noida, India)

Abstract

The automotive industry in India is undergoing a rapid digital transformation, necessitating a skilled workforce proficient in emerging technologies. However, multiple barriers impede the effective adoption of such a workforce. This study aims to analyze the interrelationships and hierarchical structure of these barriers within the Indian passenger vehicle sector. Data were collected through semi-structured interviews conducted between April 2024 and July 2025 with senior professionals from leading automotive companies and academicians with established publications in the field (ABDC A- or B-ranked journals). Of the 40 potential respondents approached via email

and LinkedIn, 10 provided written consent and participated in the interviews. The responses were transcribed and subjected to thematic analysis, which identified ten key barriers influencing skilled workforce adoption in the era of automotive digital transformation. Interpretive Structural Modeling (ISM) was used to establish the hierarchical structure of these barriers, while MICMAC (Matrice d'Impacts Croisés-Multiplication Appliquée à un Classement) analysis was employed to classify them according to their driving and dependence power. The root causes appear to include poor training infrastructure, shortcomings in industry-academia collaboration, and policy inefficiencies. These root causes strongly influence other dependent barriers, such as the limited availability of digital skill sets, the high cost of upskilling, and low workforce adaptability due to organizational resistance to change. This structured understanding provides strategic insights for policymakers, industry leaders, and educators seeking to design targeted interventions to strengthen the digital workforce ecosystem in India's passenger vehicle sector.

Keywords: skilled workforce barriers, Interpretive Structural Modeling (ISM), MICMAC analysis, India, semi-structured interviews, industry-academia collaboration

For citation:

Thakran A., Rathore R.S., Sanghi N., Maheshwari V., Sahdev S.L. (2026). Barriers to Workforce Strategy Development in the Automotive Industry: An Empirical Analysis of the Indian Passenger Vehicle Sector Using ISM and MICMAC. *Strategic Decisions and Risk Management*, 17(1): 35–46. DOI: 10.17747/2618-947X-2026-1-35-46.

汽车工业劳动力战略制定的障碍：基于ISM和MICMAC的印度乘用车行业实证分析

A. Thakran^{1,2}
R.S. Rathore³
N. Sanghi⁴
V. Maheshwari⁵
S.L. Sahdev^{6,7}

¹台湾大学 (台北, 台湾)

²中央研究院 (台北, 台湾)

³卡迪夫城市大学 (卡迪夫, 英国)

⁴Paybooks (班加罗尔, 印度)

⁵韦洛尔理工学院 (韦洛尔, 印度)

⁶联盟大学 (卡纳塔克邦, 印度)

⁷安米提大学 (诺伊达, 印度)

摘要

当前，印度汽车产业正经历快速的数字化转型，行业亟需具备新技术应用能力的高素质人才。然而，在现阶段，人才队伍建设面临一系列障碍，制约了相关人才储备体系的有效构建。本文以印度乘用车制造业为例，分析这些障碍之间的相互关系及其层级结构。研究数据来源于2024年4月至2025年7月开展的半结构化访谈。受访者包括印度领先汽车企业的高层管理人员，以及在商业、管理与经济学领域权威国际期刊上发表过相关成果的学术界人士。研究团队通过电子邮件和LinkedIn联系了40位潜在受访者，其中10位以书面形式同意参加访谈。访谈资料经转录后，采用主题分析法加以处理，识别出影响汽车工业数字化转型背景下人才队伍建设的10项基础性障碍。在此基础上，运用ISM（解释结构模型）确定了这些障碍的层级结构，并借助MICMAC分析，根据其依赖性和驱动力对其进行了分类。研究发现，基础性障碍主要包括教育基础设施薄弱、产学研互动不足以及政府政策效能不足。此外，研究还识别出若干在很大程度上受上述基础性障碍影响的次级障碍，包括具备必要数字化能力的人才短缺、技能提升项目成本过高、员工变革准备不足以及组织层面对转型的抵制等。上述结构化研究结果为政府部门、行业管理者和教育界提供了重要参考，有助于制定更具针对性的政策与措施，从而完善支撑印度乘用车制造业数字化转型的人才培养体系。

关键词：解释结构模型 (ISM)、MICMAC分析、印度、半结构化访谈、产学研互动

引用格式：

Thakran A., Rathore R.S., Sanghi N., Maheshwari V., Sahdev S.L. (2026). 汽车工业劳动力战略制定的障碍：基于ISM和MICMAC的印度乘用车行业实证分析. *战略决策与风险管理*, 17(1): 35–46. DOI: 10.17747/2618-947X-2026-1-35-46.

Введение

Автомобилестроительная отрасль Индии стремительно трансформируется под влиянием цифровых и интеллектуальных технологий нового поколения – индустрии 4.0, таких как автоматизация, искусственный интеллект, интернет вещей, роботизация и аналитика данных [Singh, Kaur, 2025]. Переход отрасли от традиционных поточных линий сборки к интегрированным производственным экосистемам отражает глобальную тенденцию перехода к автоматизированному производственному процессу, улучшенному дизайну продукции, проактивному клиентскому сервису и оптимизированной логистической системе [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025]. Эти изменения касаются не только технологической сферы; они свидетельствуют о кардинальных изменениях в подходе автомобильных компаний к созданию ценности и способе адаптации к меняющимся рыночным условиям, экологическим императивам и предпочтениям потребителей. Эта трансформация во многом стала возможной благодаря реализации ряда государственных программ Индии, таких как Digital India, Make in India, FAME и Skill India, которые способствовали модернизации цифровой инфраструктуры, стимулированию НИОКР и развитию взаимодействия между отраслью и образовательными учреждениями [Human resource., 2019; Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025].

Несмотря на динамичное развитие отрасли, индийские автопроизводители сталкиваются с серьезными барьерами при формировании кадрового потенциала, отвечающего требованиям цифровой эпохи. Современное производство автомобилей все в большей степени нуждается в дата-сайентистах, экспертах по вопросам информационной безопасности, технических специалистах по роботизированным системам, а также специалистах по ИИ, однако отрасль по-прежнему испытывает острую нехватку таких кадров [Human Resource., 2019; Ojha et al., 2024]. Недостаточно развитая инфраструктура обучения и переподготовки кадров, устаревшие

учебные программы в технических учебных заведениях и слабое взаимодействие между отраслью и образовательными учреждениями выступают основными препятствиями, ограничивающими приток квалифицированных специалистов [Human Resource., 2019; Singh, Kaur, 2025]. Эти трудности дополнительно усугубляются сопротивлением изменениям со стороны компаний, высокой стоимостью перехода на цифровые технологии и необходимостью иметь надежную ИТ-инфраструктуру, способную интегрировать передовые технологии в устаревшие системы, находящиеся в эксплуатации [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025]. Наиболее остро эти проблемы проявляются у малых и средних предприятий (МСП), где ограниченность финансовых и кадровых ресурсов существенно затрудняет внедрение цифровых технологий [Rawat et al., 2021; Ojha et al., 2024; Sharma, Paliwal, 2026].

Переход к цифровым технологиям сделал автомобильную отрасль более взаимосвязанной и сложной за счет распространения транспортных средств, подключенных к интернету и цифровым сервисам, телематических систем, платформ для электромобилей и облачных аналитических решений [Singh, Kaur, 2025]. Кейсы ведущих индийских автопроизводителей, таких как *Tata Motors* и *Mahindra & Mahindra*, свидетельствуют о значительных инвестициях в IoT-датчики, роботизированные системы на основе ИИ, удаленную диагностику и техническое обслуживание по текущему состоянию [Singh, Kaur, 2025]. Так, компания *Tata Motors* внедрила платформу iRA для анализа данных о транспортных средствах в режиме реального времени и удаленного управления, а компания *Mahindra* разработала платформу NEMO, обеспечивающую бесперебойное онлайн-взаимодействие между пользователями и менеджерами автопарков [Singh, Kaur, 2025]. Компании *Maruti Suzuki* и *Hero MotoCorp* также активно внедряют цифровые решения в разработку и производство своей продукции и обслуживание клиентов, что свидетельствует о цифровизации отрасли

в целом. Однако без квалифицированных, способных проектировать, внедрять и сопровождать сложные цифровые системы кадров реализовать преимущества этих инициатив в полной мере невозможно [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025].

В условиях цифровизации автомобильной промышленности успешное формирование квалифицированных кадров сдерживается рядом многоплановых, тесно связанных между собой факторов, в том числе высокая стоимость внедрения цифровых технологий, недостаточно развитая ИТ-инфраструктура, сопротивление изменениям со стороны компаний, несовершенство законодательной базы, риски в области защиты данных и информационной безопасности [Rawat et al., 2021; Ojha et al., 2024]. Например, современные предприятия, расположенные в крупных городах, имеют доступ к таким технологиям, как автоматизированные транспортные средства (AGV), цифровые двойники и анализ данных в реальном времени, чего нельзя сказать о городах второго и третьего уровня, в которых базовая цифровая инфраструктура все еще недостаточно развита [Singh, Kaur, 2025]. Дополнительным препятствием остается нехватка необходимых компетенций у персонала: переход к цифровым технологиям требует владения знаниями в области анализа данных, роботизированных технологий, облачных платформ и ИИ, однако учебные программы многих технических и профессиональных образовательных учреждений по-прежнему не соответствуют этим требованиям [Human Resource..., 2019; Singh, Kaur, 2025]. В результате между потребностями отрасли и теми навыками, которые формируются в традиционных образовательных учреждениях, сохраняется устойчивый разрыв, который может быть сокращен с помощью масштабных инициатив по переподготовке и повышению квалификации персонала [Human Resource..., 2019; Singh, Kaur, 2025].

Спротивление изменениям внутри самих компаний представляет собой еще один серьезный барьер, поскольку организации с устоявшимися многолетними практиками и устаревшими системами часто с трудом могут совместить традиционные и современные цифровые решения [Ojha et al., 2024]. Широко распространенное скептическое отношение сотрудников и их нежелание осваивать новые инструменты негативно сказываются на производительности или препятствуют внедрению технологий. Такое сопротивление нередко усиливается из-за недостаточной вовлеченности сотрудников среднего и нижнего управленческого звена в процессы цифровизации, успешность которых во многом зависит от скоординированных усилий, предпринимаемых на всех уровнях организации, требует поддержки со стороны руководства, инклюзивного принятия решений и эффективных стратегий управления изменениями [Kamble et al., 2018a; Ojha et al., 2024].

Обеспечение информационной безопасности цифровых экосистем, объединяющих транспортные средства, производственные площадки и хранилища данных, продолжает оставаться актуальной задачей. Транспортные средства, подключенные к интернету и цифровым сервисам, а также производственные линии с цифровым управлением становятся все более уязвимыми для взлома, что, в свою очередь, создает угрозы для надежности производственных процессов, конфиденциальности данных клиентов и защиты интеллектуальной собственности [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025]. Во многих индийских компаниях отсутствуют профильные отделы по информационной безопасности, способные снижать подобные риски, а общепромышленные стандарты защиты данных все еще находятся в стадии формирования. Государственные инициативы стимулируют стандартизацию и усиление мер по обеспечению цифровой безопасности, однако их широкое внедрение пока не завершено [Singh, Kaur, 2025].

Еще один уровень сложности связан с интеграцией передовых методов анализа данных и ИИ в производство автомобилей, оценку качества, логистику и цифровые сервисы внутри транспортных средств [Ojha et al., 2024]. Несмотря на то что цифровые платформы уже позволяют принимать решения в режиме реаль-

ного времени, осуществлять прогнозирующую аналитику и персонализацию продукции, возможность использовать эти технологии в значительной степени ограничивается существующими кадрами. Нехватка аналитиков данных, специалистов по ИИ и цифровым стратегиям не позволяет компаниям в полной мере использовать потенциал цифровой трансформации [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025].

Для систематического изучения структуры и взаимосвязей барьеров формирования кадрового потенциала в условиях цифровой трансформации в теоретических и прикладных исследованиях широко применяются методы интерпретативного структурного моделирования (ISM) и анализа MICMAC [Kamble et al., 2018b; Luthra, Mangla, 2018; Ojha et al., 2024]. Метод ISM позволяет экспертам выявлять, ранжировать и картировать барьеры в зависимости от силы их влияния и степени зависимости, что в итоге дает возможность выстроить иерархию, выявляющую барьеры, лежащие в ее основе, а также значимые взаимосвязи [Ojha et al., 2024]. С помощью анализа MICMAC эти барьеры классифицируются по отдельным кластерам, позволяющим охарактеризовать их роль в процессе трансформации, на автономные, зависимые, связующие и определяющие барьеры. Эмпирические исследования показывают, что внешнеполитические риски, отсутствие надежной ИТ-инфраструктуры и трудности интеграции относятся к числу определяющих барьеров, тогда как давление конкурентного ценообразования и риск устаревания, как правило, рассматриваются как зависимые переменные [Kamble et al., 2018a; Ojha et al., 2024].

В ряде недавних крупномасштабных исследований, включая работу [Ojha et al., 2024], барьеры количественно ранжировались на основе ответов по шкале Лайкерта, после чего полученные результаты проходили проверку с участием представителей академического сообщества и отраслевых специалистов. Эти исследования показали, что «интеграция технологий», «кибератаки» и «большие затраты на внедрение» стабильно входят в число наиболее значимых проблем, особенно для МСП. Анализ результатов опроса и анкетирования специалистов выявил, что базовая способность экосистемы к цифровой трансформации определяется надежностью ИТ-инфраструктуры и внешнеполитическими рисками [Ojha et al., 2024]. Представленная в этих исследованиях модель ISM помещает эти драйверы в основание структуры, откуда они оказывают влияние на многочисленные барьеры более высокого уровня внутри экосистемы [Ojha et al., 2024]. Эти выводы соответствуют данным, полученным в исследовании на примере индийской автомобильной промышленности, в которой переход к цифровым технологиям сдерживается инфраструктурными ограничениями, малым объемом инвестиций, дефицитом квалифицированных кадров и слабым взаимодействием между функциональными подразделениями [Human Resource..., 2019; Singh, Kaur, 2025].

Многоуровневый характер задач, стоящих перед системой подготовки кадров для автомобильной промышленности Индии, требует комплексного подхода. Стратегические альянсы между лидерами отрасли и образовательными учреждениями играют ключевую роль в преодолении дефицита навыков, обновлении учебных программ и всесторонней подготовке кадров к будущим требованиям [Human Resource..., 2019; Singh, Kaur, 2025]. Устойчивое развитие в этой сфере невозможно без государственно-частных партнерств в области НИОКР, подготовки кадров и развития цифровой инфраструктуры. Поэтапное внедрение модульных и масштабируемых технологий может способствовать снижению стоимостных барьеров, особенно для небольших предприятий [Singh, Kaur, 2025].

Настоящее исследование посвящено анализу указанных выше вызовов и возможностей. На основе целевых полуструктурированных интервью с представителями предприятий и академического сообщества в работе были выявлены ключевые барьеры, влияющие на формирование кадрового потенциала

в условиях цифровой трансформации автомобильной промышленности, а с помощью методов ISM и MICMAC были определены их иерархические связи и стратегическая значимость для автомобильной промышленности Индии. Полученные результаты могут быть полезны не только представителям отрасли, но и органам государственной власти, а также представителям системы образования при выработке практических подходов к развитию кадрового потенциала и совершенствованию соответствующей экосистемы.

Цифровая трансформация и изменения в кадровой сфере автомобильной отрасли Индии отражают более сложные процессы адаптации, устойчивости и инновационного развития. По мере того, как сектор осваивает автоматизацию, ИИ, интегрированные цифровые экосистемы и электротранспортные средства, ключевой задачей становится формирование кадрового потенциала, обладающего необходимыми компетенциями и гибкостью для перехода к следующему этапу роста. Такая адаптация требует согласованных усилий, направленных на преодоление укоренившихся барьеров, развитие сотрудничества и осуществление системных изменений на основе эмпирически обоснованных стратегий. При наличии эффективного лидерства, дальновидной государственной политики и выверенных стратегических моделей, таких как ISM и MICMAC, автомобильная промышленность Индии сможет в полной мере реализовать возможности перехода к цифровым технологиям и преодолеть сохраняющиеся препятствия на пути формирования высококвалифицированных кадров [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025].

1. Обзор литературы

Цифровая трансформация легкового автомобилестроения Индии развивается стремительными темпами под влиянием новых технологий, интегрированных в экосистему индустрии 4.0, в том числе искусственного интеллекта, интернета вещей, робототехники, облачных вычислений и расширенной аналитики данных [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025]. Эти изменения затрагивают производственные процессы, проектирование продукции и бизнес-модели, обеспечивая существенные конкурентные преимущества. Однако полноценная реализация этих преимуществ зависит от наличия квалифицированных кадров, владеющих сложными цифровыми компетенциями [Human Resource., 2019; Singh, Kaur, 2025]. Научная литература убедительно показывает, что формирование такого кадрового потенциала сдерживается рядом устойчивых барьеров, которые особенно заметны на примере легкового автомобилестроения Индии – отрасли, находящейся на переломном этапе между традиционной производственной моделью и требованиями цифровой трансформации [Kamble et al., 2018b; Ojha et al., 2024].

1.1. Цифровая трансформация и проблемы формирования кадров в автомобильной отрасли Индии

В современных исследованиях подчеркивается, что цифровая трансформация – это не просто внедрение технологий, а смена парадигмы, требующая пересмотра подходов к подготовке кадров, развитию новых компетенций и корпоративной культуре. В [Ojha et al., 2024] отмечается, что сложность внедрения индустрии 4.0 связана прежде всего с формированием кадров, которые не просто поддерживают, но и стимулируют развитие таких цифровых инноваций, как автоматизированное производство, прогнозная аналитика и подключенные транспортные средства. В исследовании [Singh, Kaur, 2025] внимание также уделяется государственной политике Индии, в том числе реализации программ Digital India и Skill India, которые ориентированы на синхронизацию развития кадровых компетенций с актуальными потребностями промышленности, но сталкиваются с трудностями, в менее урбанизированных производственных кластерах, в которых отсутствует цифровая инфраструктура.

В научной литературе, опубликованной за последнее десятилетие, выделяются три основных барьера, непосредственно связанных с развитием кадрового потенциала: нехватка необходимых навыков, недостаточно развитая инфраструктура обучения и переподготовки кадров, а также сопротивление цифровым изменениям внутри организаций [Kamble et al., 2018a; Ojha et al., 2024]. Отмечается недостаток как базовых цифровых навыков, включая анализ данных, информационную безопасность, ИИ и машинное обучение, так и гибких навыков, связанных с адаптивностью и управлением изменениями [Human Resource., 2019; Singh, Kaur, 2025]. Многие технические учебные заведения по-прежнему опираются на учебные программы, не успевающие за быстро меняющимися требованиями отрасли, что сохраняет разрыв между компетенциями выпускников и ожиданиями рынка [Ojha et al., 2024]. Несмотря на то что переподготовка и повышение квалификации персонала являются критически важными факторами, текущие усилия в этой области все еще недостаточны и мало эффективны [Singh, Kaur, 2025].

Ограничивает темпы цифровой трансформации автомобильных компаний и внутреннее сопротивление, во многом обусловленное сохранением устаревших технологических и управленческих систем [Kamble et al., 2018a; Ojha et al., 2024]. Такое сопротивление проявляется не только на операционном уровне, но и в среде руководителей среднего и высшего звена, где могут преобладать опасения, связанные с утратой значимости, недостаточным пониманием цифровых процессов и инерцией управленческого мышления [Ojha et al., 2024]. Однако преодоление данного барьера требует поддержки со стороны высшего руководства, реализации прозрачных стратегий управления изменениями и выстраивания инклюзивной коммуникации, охватывающей работников всех уровней [Kamble et al., 2018b].

Отдельные трудности характерны для малых и средних предприятий, которые сталкиваются с ограниченностью финансовых ресурсов, меньшим масштабом программ подготовки кадров и неравномерным доступом к передовым технологиям [Ojha et al., 2024]. Государственные субсидии и меры стимулирования, хотя и существуют, как правило, в большей степени ориентированы на крупных производителей, что усиливает различия в уровне цифровой готовности кадров между производителями первого уровня и их более мелкими поставщиками или подрядчиками [Singh, Kaur, 2025].

К числу других значимых барьеров, рассматриваемых в литературе, относятся риски информационной безопасности, связанные с интегрированными производственными средами, отсутствие стандартизированных протоколов внедрения технологий, а также неопределенности в вопросах государственной политики, касающихся защиты данных и правового регулирования цифрового труда [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025]. Эти инфраструктурные и нормативные ограничения усиливают неопределенность в кадровой сфере, снижая мотивацию сотрудников к освоению новых навыков и инвестированию в цифровые технологии [Ojha et al., 2024].

1.2. Методологические подходы к анализу барьеров формирования и развития кадрового потенциала

Среди аналитических инструментов, используемых для изучения указанных барьеров, в современных исследованиях, посвященных цифровой трансформации автомобильной отрасли, особое место занимают метод интерпретативного структурного моделирования (ISM) и анализ MICMAC (Matrice d'Impacts Croisés-Multiplication Appliquée à un Classement) [Kamble et al., 2018b; Ojha et al., 2024]. Метод ISM рассматривается как структурированный способ представления сложных взаимосвязей между факторами в виде иерархической модели, что позволяет выявить глубинные причины, промежуточные звенья влияния и зависимые последствия [Ojha et al., 2024]. С помощью анализа

MICMAC барьеры подразделяются на автономные, связующие, зависимые и определяющие кластеры в соответствии с силой их влияния и степенью зависимости, что создает основу для расстановки приоритетов при принятии мер [Kamble et al., 2018b].

В научной литературе методы ISM и MICMAC широко применяются при анализе сложных систем, характеризующихся технологической сложностью и взаимосвязанностью организационных процессов, включая экосистемы умного производства и цифровые логистические цепочки [Kamble et al., 2018a; Ojha et al., 2024]. Использование этих методов способствует достижению консенсуса между представителями системы образования и автомобилестроительной отрасли о многоуровневом характере указанных барьеров, тогда как вне такого анализа они могут восприниматься как разрозненные и не связанные между собой явления [Ojha et al., 2024]. Применительно к автомобильной отрасли Индии данные модели дают возможность более точно показать, как неразвитость инфраструктуры, профессиональные компетенции, корпоративная культура и нормативная база взаимно обуславливают друг друга.

1.3. Цели исследования

Опираясь на перечисленные положения, настоящее исследование направлено на углубление понимания данной проблемы применительно к отрасли производства легковых автомобилей в Индии, где барьеры, препятствующие освоению необходимых компетенций, выступают стратегическим ограничением устойчивой цифровой трансформации. Цели исследования заключаются в следующем:

1. выявить ключевые барьеры, влияющие на формирование квалифицированного кадрового потенциала в условиях цифровой трансформации автомобильной промышленности в секторе легкового автомобилестроения Индии;
- 2) проанализировать взаимосвязи и иерархическую структуру этих барьеров с использованием метода интерпретативного структурного моделирования (ISM);
- 3) классифицировать и распределить барьеры по силе их влияния и степени зависимости с помощью анализа MICMAC;
- 4) разработать практические рекомендации для органов государственной власти, руководителей предприятий и представителей системы образования, направленные на преодоление указанных барьеров и ускорение цифровой готовности кадров.

1.4. Десять ключевых переменных, влияющих на формирование квалифицированного кадрового потенциала

На основе комплексного обзора литературы и экспертных интервью были выделены десять ключевых переменных, оказывающих влияние на формирование квалифицированного кадрового потенциала в условиях цифровой трансформации автомобильной промышленности:

- Недостаточно развитая инфраструктура обучения и переподготовки кадров

Отсутствие современных учебных центров, образовательных программ, отвечающих потребностям отрасли, а также программ повышения квалификации снижает готовность кадров к работе в новых условиях [Human Resource..., 2019, Singh, Kaur, 2025].

- Сопrotивление изменениям внутри организаций

Инертная корпоративная культура и настороженное отношение сотрудников и руководителей среднего звена препятствуют освоению новых цифровых процессов и технологий [Kamble et al., 2018a; Ojha et al., 2024].

- Слабое взаимодействие между отраслью и академическим сообществом

Слабые связи между автомобильными компаниями и образовательными учреждениями приводят к несогласованности

усилий по развитию компетенций и ограничивают возможности практической подготовки кадров [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025].

- Недостаточный уровень цифровой грамотности имеющегося персонала

Низкий уровень владения цифровыми инструментами и слабое понимание концепций цифровой трансформации ограничивает способность сотрудников адаптироваться к среде «Индустрия 4.0» [Human Resource..., 2019, Singh, Kaur, 2025].

- Значительные затраты на внедрение цифровых технологий

Многие компании, особенно МСП, воздерживаются от полномасштабных инвестиций в цифровую подготовку кадров, так как внедрения автоматизации, IoT-решений и инструментов ИИ требуют значительных капитальных вложений [Ojha et al., 2024].

- Недостаточно развитые ИТ-инфраструктура и низкое качество интернет-соединения

Низкое качество интернет-соединения и устаревшая цифровая инфраструктура ограничивают масштабы цифровой трансформации, особенно в городах второго и третьего уровня [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025].

- Проблемы информационной безопасности и защиты данных

Рост числа киберугроз и отсутствие четкой нормативной базы делают персонал более осторожным в отношении внедрения цифровых технологий и снижают готовность к их использованию [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025].

- Несовершенство государственной политики и нормативной базы

Неоднозначность нормативно-правовой базы в сфере цифрового труда и управления данными, а также отсутствие конкретных государственных стимулов затрудняют стратегическое планирование трансформации кадровой сферы [Singh, Kaur, 2025].

- Ограниченное понимание преимуществ цифровой трансформации

Как руководители, так и сотрудники нередко не обладают достаточным представлением о потенциальных преимуществах цифровой трансформации, что усиливает осторожность и сопротивление изменениям [Kamble et al., 2018a].

- Недостаточная адаптивность персонала и слабо развитые механизмы управления изменениями

Способность эффективно управлять изменениями на всех уровнях организации остается ограниченной из-за недостаточного внимания со стороны руководства и недостаточной подготовки персонала [Ojha et al., 2024].

1.5. Выводы по результатам обзора литературы

В научной литературе последовательно подчеркивается, что перечисленные барьеры существуют не изолированно, а образуют сложную систему взаимосвязанных причин и следствий, требующую комплексного рассмотрения [Kamble et al., 2018a; Ojha et al., 2024]. Так, недостаточно развитая инфраструктура подготовки кадров рассматривается как один из исходных факторов, усиливающих дефицит цифровой грамотности и затрудняющих адаптацию персонала к новым условиям. Сопrotивление изменениям внутри организаций нередко связывается с ограниченным пониманием преимуществ цифровой трансформации и недостаточной проработанностью механизмов управления изменениями; частичное преодоление данного барьера может быть обеспечено за счет более тесного взаимодействия между отраслью и образовательными учреждениями, а также посредством мер государственной поддержки [Singh, Kaur, 2025]. В исследованиях также отмечается, что преодоление указанных барьеров с помощью реализации адресных мер, стратегического межотраслевого взаимодействия и инвестиций в масштабируемые решения в сфере подготовки кадров имеет принципиальное

значение для ускорения цифровой трансформации и развития кадрового потенциала автомобильной отрасли Индии [Ojha et al., 2024; Singh, Kaur, 2025]. В этой связи применение методов ISM и MICMAC может рассматриваться как эффективный аналитический инструмент, позволяющий заинтересованным сторонам более обоснованно определять приоритетные направления работы и рационально распределять ресурсы.

2. Методология исследования

Методология настоящего исследования основана на качественном подходе и предполагает использование полуструктурированных интервью в сочетании с методом интерпретативного структурного моделирования (ISM) и анализом MICMAC. Данный подход применен для изучения взаимосвязей и иерархической организации барьеров, препятствующих формированию квалифицированного кадрового потенциала в условиях цифровой трансформации легкового автомобилестроения Индии. Методологическая схема исследования опирается на современные подходы, представленные в недавних работах, посвященных трансформации автомобильной промышленности и адаптивности кадров [Debnath et al., 2023; Ruben et al., 2023; Ojha et al., 2024].

Для всестороннего изучения барьеров и связей между ними отбор респондентов осуществлялся с использованием целевой выборки. В выборку были включены представители предприятий автомобильной промышленности и академического сообщества, непосредственно вовлеченные в процессы цифровой трансформации автомобильной промышленности либо имеющие публикации по данной проблематике в высокорейтинговых научных изданиях. Потенциальным респондентам, представляющим ведущие автомобильные компании и академическое сообщество, направлялись приглашения по электронной почте и через LinkedIn. Участие в исследовании допускалось только при наличии письменного согласия, что обеспечивало соблюдение этических требований и конфиденциальности [Vajrai, 2019; Singh, Kaur, 2025]. В окончательную выборку были включены 10 экспертов из 40 приглашенных, что позволило сформировать состав участников, в наибольшей степени соответствующий целям исследования.

Сбор качественных данных проводился с помощью полуструктурированных интервью – метода, сочетающего необходимую исследовательскую структуру с достаточной гибкостью, и позволяющего респондентам подробно раскрывать как значимые, так и менее очевидные аспекты барьеров, связанных с формированием кадрового потенциала при одновременном сохранении сопоставимости полученных данных [Vajrai, 2019; Horváth, Szabó, 2019; Ruslin, 2022]. Интервью проводились в период с апреля 2024 по июль 2025 года, продолжительность каждого интервью составляла в среднем от 60 до 90 минут. Интервью были дословно транскрибированы для последующего детального анализа. Использование полуструктурированных интервью соответствует современным качественным исследованиям, посвященным отраслевым трансформациям, в которых особое значение придается углубленным экспертным оценкам, необходимым для выявления динамического взаимодействия технологических, организационных и политических барьеров [Vajrai, 2019; Horváth, Szabó, 2019; Singh, Kaur, 2025].

После завершения сбора данных был проведен их тематический анализ, в ходе которого выявлены повторяющиеся темы и отдельные переменные, влияющие на формирование квалифицированного кадрового потенциала. Тематическое кодирование выполнялось двумя независимыми исследователями, что позволило повысить достоверность результатов и снизить риск субъективных искажений; возникавшие расхождения устранялись путем достижения согласованной позиции. На основе многочисленных высказываний, полученных в ходе интервью, были вы-

делены десять основных переменных, рассматриваемых как первичные барьеры. К их числу отнесены недостаточное развитие инфраструктуры обучения и переподготовки кадров, сопротивление изменениям внутри организации, ограниченное взаимодействие между отраслью и академическим сообществом, недостаточный уровень цифровой грамотности, значительные затраты на внедрение цифровых решений, недостаточно развитая ИТ-инфраструктура, проблемы информационной безопасности и защиты данных, несовершенство государственной политики и нормативной базы, ограниченное понимание преимуществ цифровой трансформации, а также недостаточная развитость механизмов управления изменениями и адаптивности.

После завершения качественного кодирования был применен метод ISM в соответствии с подходом, предложенным в [Warfield, 1973] и адаптированным к автомобильной промышленности в более поздних исследованиях [Ojha et al., 2024; Debnath et al., 2023]. Метод ISM позволяет выстроить иерархическую модель, отражающую способ и характер влияния барьеров друг на друга в рамках единой структурированной матрицы. На первом этапе на основе экспертных суждений респондентов была сформирована матрица структурных самовзаимодействий (SSIM); при ее построении пары переменных последовательно сопоставлялись для установления направленных связей между ними с учетом согласованных экспертных оценок. Затем на основе SSIM были построены начальная и итоговая матрицы достижимости, что позволило формализованно определить, какие барьеры в общей системе являются определяющими (первичными), а какие – зависимыми [Ruben et al., 2023; Ojha et al., 2024].

Затем полученная на этапе ISM иерархическая структура была проанализирована с использованием метода MICMAC, предложенного в работе [Faisal et al., 2009] и широко применяемого в исследованиях цифровой трансформации кадровой сферы в обрабатывающей и автомобильной промышленности [Debnath et al., 2023; Ojha et al., 2024]. Анализ MICMAC позволяет сгруппировать выявленные барьеры в соответствии с силой их влияния и степенью зависимости, относя их к автономным, зависимым, связующим и определяющим кластерам, что повышает стратегическую определенность интерпретации результатов. Переменные, характеризующиеся высокой силой влияния и низкой зависимостью, такие как недостаточно развитая инфраструктура обучения и переподготовки кадров и дефицит инвестиций в ИТ, были определены как стратегические узкие места, требующие первоочередного вмешательства. В то же время переменные с высокой степенью зависимости, например адаптивность и осведомленность, рассматривались как производные результаты, улучшающиеся по мере устранения определяющих барьеров [Ruben et al., 2023; Ojha et al., 2024].

Таким образом, использованный смешанный подход позволяет проводить комплексное картирование барьеров, препятствующих формированию квалифицированного кадрового потенциала, объединяя содержательную глубину качественного анализа и экспертных оценок с возможностями строгого структурного моделирования. Сочетание тематического кодирования, метода ISM и анализа MICMAC отражает современные методологические подходы в исследованиях индустрии 4.0 и кадровой проблематики в автомобильной отрасли, позволяя выявлять ключевые барьеры и разрабатывать практические решения для органов государственной власти, представителей системы образования и руководителей предприятий [Vajrai, 2019; Debnath et al., 2023; Ojha et al., 2024].

На всех этапах исследования строго соблюдались этические требования. Данные участников были анонимизированы и хранились в защищенном виде. В исследовании участвовали только эксперты, предоставившие письменное информированное согласие, а исследовательский протокол был проверен на соответствие установленным этическим нормам.

3. Анализ данных и результаты исследования

В данном разделе представлены результаты систематического анализа данных, полученных в ходе интервью с использованием метода интерпретативного структурного моделирования (ISM) и анализа MICMAC для выявления, структурирования и классификации десяти ключевых барьеров, препятствующих формированию квалифицированного кадрового потенциала в автомобильной промышленности Индии.

Таблица 1
Ключевые
Table 1
Key Barriers to Skilled Workforce Adoption

Код	Характеристика барьера
B1	Недостаточно развитая инфраструктура обучения и переподготовки кадров
B2	Сопrotивление изменениям внутри организаций
B3	Низкий уровень взаимодействия между отраслью и академическим сообществом
B4	Недостаточный уровень цифровой грамотности имеющегося персонала
B5	Значительные затраты на внедрение цифровых технологий
B6	Недостаточно развитая ИТ-инфраструктура и низкое качество интернет-соединения
B7	Проблемы информационной безопасности и защиты данных
B8	Несовершенство государственной политики и нормативной базы
B9	Ограниченное понимание преимуществ цифровой трансформации
B10	Недостаточная адаптивность персонала и слабо развитые механизмы управления изменениями

Источник: составлено авторами.

Взаимосвязи между барьерами устанавливались на основе суждений респондентов. Для обозначения направления связи между каждой парой барьеров (i, j) использовались четыре символа:

- V – барьер i обуславливает барьер j;
 - A – барьер j обуславливает барьер i;
 - X – барьеры i и j взаимно обуславливают друг друга;
 - O – между барьерами связь не выявлена.
- Матрица SSIM представлена в табл. 2.

Таблица 2
Матрица структурных самовзаимодействий (SSIM)
Table 2
Structural Self-Interaction Matrix (SSIM)

Барьер	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2
B1	V	V	V	V	V	V	V	V	V
B2	V	V	A	A	A	A	A	A	–
B3	V	V	V	A	V	V	V	–	–
B4	A	A	A	A	A	A	–	–	–
B5	A	A	A	A	A	–	–	–	–
B6	V	V	V	A	–	–	–	–	–
B7	A	A	A	–	–	–	–	–	–
B8	V	V	–	–	–	–	–	–	–
B9	A	–	–	–	–	–	–	–	–

Источник: составлено авторами.

Как видно из табл. 2, символ V в ячейке (B1, B2) означает, что, по мнению респондентов, недостаточное развитие инфраструктуры обучения и переподготовки кадров (B1) способствует формированию сопротивления изменениям внутри организации (B2).

Матрица SSIM была преобразована в бинарную начальную матрицу достижимости в соответствии со следующими правилами: V = 1, A = 1, X = 1, O = 0. Далее был учтен принцип транзитивности связей: если барьер A обуславливает барьер B, а барьер

B обуславливает барьер C, то барьер A также обуславливает барьер C. Это позволило построить итоговую матрицу достижимости, представленную в табл. 3. Сила влияния и степень зависимости каждого барьера определялись соответственно как сумма элементов по строке и по столбцу.

Таблица 3
Итоговая матрица достижимости
Table 3
Final Reachability Matrix

Барьер	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	Сила влияния
B1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
B2	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	4
B3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
B4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
B5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
B6	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	8
B7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2
B8	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	8
B9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
B10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Степень зависимости	1	5	2	5	5	4	5	5	6	10	

Источник: составлено авторами.

Далее барьеры были распределены по уровням на основе множеств достижимости и предшествования. Такой итерационный процесс позволяет установить иерархическую структуру барьеров, в которой верхний уровень занимают наименее влиятельные и наиболее зависимые из них.

Итоговое распределение барьеров по уровням:

- уровень I – недостаточная адаптивность персонала и слабо развитые механизмы управления изменениями (B10);
- уровень II – ограниченное понимание преимуществ цифровой трансформации (B9), недостаточный уровень цифровой грамотности (B4), значительные затраты на внедрение цифровых технологий (B5), проблемы информационной безопасности (B7);
- уровень III – сопротивление изменениям внутри организаций (B2);
- уровень IV – недостаточно развитая ИТ-инфраструктура (B6), несовершенство государственной политики (B8);
- уровень V – низкий уровень взаимодействия между отраслью и академическим сообществом (B3);
- уровень VI – недостаточно развитая инфраструктура обучения и переподготовки кадров (B1).

Для выявления иерархических взаимосвязей между десятью барьерами, препятствующими квалифицированного кадрового потенциала в условиях цифровой трансформации легкого автомобилестроения Индии, был использован метод интерпретативного структурного моделирования (ISM). Результаты ISM-анализа, отражающие распределение барьеров по уровням и их роль в иерархической структуре, представлены в табл. 4.

Определяющие барьеры являются базовыми, поскольку оказывают наиболее сильное влияние на остальные переменные; связующие барьеры одновременно взаимодействуют с вышележащими и нижележащими уровнями; зависимые барьеры в большей степени выступают следствием, чем причиной.

Ниже даны пояснения к уровням ISM.

- *Уровень 1 (определяющие барьеры):*

Недостаточно развитая инфраструктура подготовки кадров, а также ИТ-инфраструктура находится на базовом уровне, что указывает на их ключевую роль в формировании всех остальных барьеров. Улучшения на этом уровне создают предпосылки для позитивных изменений и на последующих уровнях [Ojha et al., 2024].

Таблица 4
Распределение барьеров по уровням и их роль в иерархической структуре

Table 4
Analysis of Barriers to Skilled Workforce Adoption

Уровень	Барьер	Роль
1	Недостаточно развитая инфраструктура обучения	Определяющая
1	Недостаточно развитая ИТ-инфраструктура и низкое качество интернет-соединения	Определяющая
2	Несовершенство государственной политики и нормативной базы	Связующая
2	Значительные затраты на внедрение	Связующая
3	Низкий уровень взаимодействия между отраслью и академическим сообществом	Связующая
3	Сопrotивление изменениям внутри организаций	Связующая
4	Проблемы информационной безопасности и защиты данных	Связующая
5	Недостаточный уровень цифровой грамотности	Зависимая
5	Ограниченное понимание преимуществ цифровой трансформации	Зависимая
5	Недостаточная адаптивность персонала и слабо развитые механизмы управления изменениями	Зависимая

Источник: составлено авторами.

• **Уровень 2–4 (связующие барьеры):**

Такие барьеры, как несовершенство государственной политики и нормативного регулирования, высокие затраты на внедрение, низкий уровень взаимодействия между отраслью и академическим сообществом, сопротивление изменениям внутри организации, а также проблемы информационной безопасности, занимают промежуточное положение. Их положение в качестве как связующих барьеров означает, что любое воздействие на них отражается сразу на нескольких взаимосвязанных областях. Так, повышение ясности государственной политики способно сокра-

тить затраты на внедрение и стимулировать развитие сотрудничества между отраслью и наукой [Ruben et al., 2023].

• **Уровень 5 (зависимые барьеры):**

Такие барьеры, как недостаточный уровень цифровой грамотности, ограниченное понимание преимуществ цифровой трансформации и недостаточная адаптивность персонала, в значительной степени являются результатом действия факторов, расположенных на предшествующих уровнях. По мере устранения базовых и связующих барьеров эти зависимые барьеры также имеют тенденцию к ослаблению [Kamble et al., 2018]

Анализ MICMAC был проведен на основе оценки силы влияния и степени зависимости каждого барьера, рассчитанных по данным табл. 3, после чего барьеры были распределены по четырем кластерам.

Анализ MICMAC также был использован для оценки силы влияния и степени зависимости каждого барьера. Сводные результаты представлены в табл. 6.

Определяющие барьеры выступают системными узкими местами; их преодоление оказывает наиболее сильное влияние на формирование квалифицированного кадрового потенциала в целом.

Связующие барьеры представляют собой критически важные переходные звенья; любые улучшения или ухудшения на этом уровне отражаются как на определяющих, так и на зависимых барьерах.

Зависимые барьеры выступают следствием действия определяющих и связующих барьеров; в общей сети барьеров они представляют собой конечные проявления системных ограничений.

Таким образом, метод ISM позволяет представить качественные суждения респондентов в виде формализованной иерархической модели и тем самым выявить первичные барьеры, которые должны быть преодолены в первую очередь при формировании квалифицированного кадрового потенциала

Таблица 5
Кластеризация барьеров по результатам анализа MICMAC
Table 5
MICMAC Clustering of Barriers

Кластер	Сила влияния	Степень зависимости	Барьеры	Интерпретация
I. Автономный	Низкая	Низкая	–	В данный кластер не вошел ни один барьер, что указывает на системную значимость всех выявленных барьеров
II. Зависимый	Низкая	Высокая	B4, B5, B7, B9, B10	Барьеры-следствия характеризуются низкой силой влияния, но высокой степенью зависимости от других факторов. Именно они часто выступают наиболее заметными проявлениями первичных барьеров
III. Связующий	Высокая	Высокая	B2, B6, B8	Любое воздействие на нестабильные, но стратегически значимые барьеры вызывает цепную реакцию в отношении других барьеров и одновременно отражается на них самих. Поэтому они требуют особенно внимательного управления
IV. Независимый (определяющий)	Высокая	Низкая	B1, B3	Барьеры-первопричины обладают высокой силой влияния и низкой зависимостью, то есть воздействуют на всю систему, оставаясь при этом относительно слабо зависимыми от других барьеров. Их устранение имеет ключевое значение для системных изменений

Источник: составлено авторами.

Таблица 6
Сила влияния и степень зависимости барьеров по результатам анализа MICMAC
Table 6
MICMAC Barrier Strength Analysis

Барьер	Сила влияния	Степень зависимости	Кластер
Недостаточно развитая инфраструктура обучения и переподготовки кадров	Высокая	Низкая	Определяющий
Недостаточно развитая ИТ-инфраструктура и интернет-соединение	Высокая	Низкая	Определяющий
Несовершенство государственной политики и нормативной базы	Высокая	Высокая	Связующий
Высокие затраты на внедрение цифровых технологий	Высокая	Высокая	Связующий
Проблемы информационной безопасности и защиты данных	Средняя	Высокая	Связующий
Низкий уровень взаимодействия между отраслью и академическим сообществом	Средняя	Высокая	Связующий
Сопrotивление изменениям внутри организаций	Средняя	Высокая	Связующий
Недостаточный уровень цифровой грамотности	Низкая	Высокая	Зависимый
Ограниченное понимание преимуществ цифровой трансформации	Низкая	Высокая	Зависимый
Недостаточная адаптивность персонала и слабо развитые механизмы управления изменениями	Низкая	Высокая	Зависимый

Источник: составлено авторами.

[Ojha et al., 2024]. Классификация барьеров, полученная с помощью анализа MICMAC, дает возможность определить, какие барьеры в наибольшей степени поддаются целенаправленному воздействию, а какие ослабевают по мере устранения базовых ограничений. Результаты анализа показывают, что наиболее важными факторами системных изменений выступают обучение персонала, ИТ-инфраструктура и качество нормативной базы, тогда как адаптивность, осведомленность и цифровая грамотность в большей степени отражают последствия общего прогресса. Таким образом, для внедрения системных инноваций необходимо сосредоточиться на определяющих и связующих уровнях иерархии, поскольку именно от них зависят положительные изменения в зависимых переменных [Kamble et al., 2018a; Fauzdar, 2022].

4. Обсуждение результатов

Результаты анализа с использованием методов ISM и MICMAC позволили выявить четкую, имеющую практическую ценность структуру барьеров, препятствующих формированию квалифицированного кадрового потенциала.

- Барьеры-первопричины (кластер IV: независимые определяющие барьеры)

Установлено, что наибольшей силой влияния обладают недостаточно развитая инфраструктура обучения и переподготовки кадров (B1) и низкий уровень взаимодействия между отраслью и академическим сообществом (B3). Как показали интервью, без современных лабораторий, обновленных учебных программ и устойчивого практико-ориентированного взаимодействия между компаниями и университетами формирование притока квалифицированных специалистов оказывается невозможным. Эти барьеры располагаются в основании иерархии ISM и запускают цепочку последствий, распространяющихся на всю систему.

- Стратегические точки приложения усилий (кластер III: связующие барьеры)

Недостаточно развитая ИТ-инфраструктура (B6), несовершенство государственной политики и нормативной базы (B8), а также сопротивление изменениям внутри организаций (B2) образуют критически важный стратегический кластер. Эти барьеры характеризуются одновременно высокой силой влияния и высокой степенью зависимости, выступая ключевыми промежуточными звеньями системы. Так, недостаточно развитая ИТ-инфраструктура (B6) непосредственно обуславливает большие затраты на внедрение цифровых технологий (B5) и недостаточный уровень цифровой грамотности (B4), а несовершенство государственной политики и нормативной базы (B8) усиливает неопределенность, сдерживая инвестиции в обучение (B1) и внедрение технологий (B5). Преодоление этих барьеров способно запустить положительные изменения о всей системе.

- Барьеры-следствия (кластер II: зависимые барьеры)

На верхних уровнях иерархии ISM и в зависимом кластере MICMAC находятся барьеры, являющиеся следствием действия определяющих барьеров-первопричин. К наиболее заметным из таких барьеров относятся большие затраты на внедрение цифровых технологий (B5), недостаточный уровень цифровой грамотности (B4), проблемы информационной безопасности (B7), ограниченное понимание преимуществ цифровой трансформации (B9) и, в конечном итоге, недостаточная адаптивность персонала (B10). Полученные результаты показывают, что воздействие только на эти зависимые барьеры, например через информационные кампании, не принесет заметного эффекта без одновременного устранения первопричин и связующих барьеров.

Таким образом, модель ISM позволяет выстроить стратегическую последовательность действий, при которой меры воздействия реализуются снизу вверх. Инвестиции в современную

инфраструктуру обучения и переподготовки кадров (B1) и развитие партнерства между отраслью и академическим сообществом (B3) способны снизить нагрузку на ИТ-инфраструктуру (B6) и повысить определенность политико-регуляторной среды (B8). Это, в свою очередь, позволит ослабить сопротивление изменениям внутри организаций (B2), уменьшить затраты и риски, повысить уровень цифровой грамотности и в конечном итоге сформировать более адаптивный и квалифицированный кадровый потенциал (B10). Тем самым внимание переносится с внешних проявлений проблемы на ее глубинные причины.

5. Рекомендации и предложения

Основываясь на иерархии ISM и результатах анализа MICMAC, можно сформулировать основанный на эмпирических данных комплексный план действий. Полученные выводы убедительно доказывают, что первоочередное внимание должно быть уделено устранению первопричин и связующих барьеров, поскольку именно таким образом можно достичь положительного эффекта во всей системе барьеров. Ниже представлены практические рекомендации для основных групп участников – органов государственной власти, руководителей предприятий и образовательных организаций, – составленные на основе результатов моделирования ISM и MICMAC анализа.

Органы государственной власти и представители отрасли должны инициировать национальную программу развития цифровых компетенций для автомобильной промышленности в формате государственно-частного партнерства (PPP). Реализация программы должна осуществляться при участии производителей оригинального оборудования и крупных поставщиков с целью создания центров передового опыта (Centers of Excellence, CoEs) по перспективным направлениям (ИИ, интернет вещей, робототехника и производство электромобилей) на базе ведущих инженерных вузов и учреждений профессионально-технической подготовки (ИТ). Учебные программы должны разрабатываться совместно с ведущими экспертами отрасли и регулярно обновляться.

Преподаватели вузов по направлениям «автомобилестроение» и «информатика и вычислительная техника» должны проходить обязательные практико-ориентированные стажировки в соответствующей отрасли. Для сокращения разрыва между теорией и практикой необходимо более активно предоставлять преподавателям академические отпуска, в рамках которых они могли бы работать в подразделениях автомобильных компаний, занимающихся исследованиями и разработками.

Органам государственной власти следует разработать поэтапный план модернизации цифровой инфраструктуры в промышленных кластерах, особенно в городах второго и третьего уровня. Компаниям, инвестирующим в высокоскоростное интернет-соединение и облачную инфраструктуру, должны предоставляться налоговые льготы и субсидии. Кроме того, необходимо сформировать устойчивую, прозрачную нормативную базу в области цифровой трансформации автомобильной промышленности, определяющую требования к защите данных, стандартам информационной безопасности и правам интеллектуальной собственности в рамках совместных НИОКР, тем самым понизив влияние барьера B8.

Работа по управлению изменениями должна поддерживаться не только на уровне менеджмента, но и активно поощряться руководителями предприятий, которым следует открыто поощрять цифровые инициативы и наделять менеджеров среднего звена полномочиями выступать проводниками изменений. Целесообразно создавать рабочие группы по цифровой трансформации с участием представителей разных подразделений, что будет способствовать снижению сопротивления изменениям внутри организации (барьер B2).

Предприятиям отрасли следует разрабатывать гибкие цифровые решения с низким порогом входа для малых и средних компаний, что позволит решить проблему, связанную с большими затратами на внедрение (B5). Необходимо также внедрять программы непрерывного повышения цифровой грамотности уже работающего персонала с акцентом на практико-ориентированное обучение, а не только на теоретическую подготовку, что будет способствовать преодолению барьера B4.

Всем заинтересованным сторонам следует реализовать согласованную информационную кампанию, посвященную цифровой трансформации, тем самым уменьшая опасения работников отрасли и повышая уровень их осведомленности (барьер B9). С использованием примеров из успешного опыта ведущих индийских автопроизводителей необходимо демонстрировать, что переход к цифровым технологиям дает экономический эффект, повышает уровень безопасности и расширяет профессиональные возможности работников, а не только сокращает рабочие места.

Ниже представлены планы действий для отдельных групп участников.

Органы государственной власти центрального и регионального уровня должны:

- стимулировать взаимодействие между отраслью, образовательными организациями и академическим сообществом посредством предоставления дополнительных налоговых вычетов для компаний, финансирующих студенческие проекты, организующих стажировки и участвующих в разработке учебных программ совместно с вузами;
- финансировать программы переподготовки кадров в рамках инициатив Skill India Mission и FAME, в том числе субсидировать программы сертификации в области современных цифровых компетенций для работников автомобильной промышленности (например, в области аддитивного производства или информационной безопасности);
- развивать защищенную инфраструктуру с высокой пропускной способностью в центрах автомобильного производства в рамках государственной программы Smart Cities Mission.

Представителям автомобильной промышленности (производители оригинального оборудования, МСП и основные поставщики) следует:

- осуществлять поэтапный переход к цифровым технологиям, вместо полномасштабных мероприятий начинать с пилотных проектов на уровне одного завода или отдельного подразделения. Демонстрация быстрых и наглядных результатов позволит укрепить доверие и обеспечить более широкую поддержку преобразований, снижая опасения и сопротивление со стороны персонала;
- выявлять перспективных сотрудников и готовить их к роли внутренних лидеров и наставников в переходе к передовым цифровым технологиям. Такой подход нередко оказывается эффективнее, чем опора исключительно на внешних консультантов, и способствует формированию устойчивого внутреннего потенциала;
- обозначать понятные возможности профессионального роста, в том числе разрабатывать новые должностные инструкции и программы повышения квалификации для действующих работников, а также показывать, каким образом механики могут переквалифицироваться в специалистов по робототехнике или аналитиков данных, превращая цифровую трансформацию из угрозы в возможность профессионального роста.

Высшим и средним профессиональным образовательным учреждениям рекомендуется:

- перейти от ежегодного пересмотра учебных планов к более гибкой модульной системе, позволяющей оперативно

включать в планы изучение новых технологий по мере их появления. Необходимо также расширять проектное обучение на основе реальных задач, предоставляемых партнерами-представителями отрасли.

- стимулировать развитие гибких навыков посредством включения модулей, посвященных адаптивности, критическому мышлению, решению проблем и управлению изменениями, в технические образовательные программы, чтобы лучше подготовить выпускников к быстро меняющейся технологической среде.
- разрабатывать специализированные программы дополнительного профессионального образования с выдачей сертификата или диплома в области цифровизации автомобильной промышленности для уже работающих специалистов. Такие программы могут стать одновременно дополнительным источником дохода для образовательных организаций и важным направлением их взаимодействия с отраслью.

6. Заключение и перспективы для дальнейших исследований

Цифровая трансформация автомобилестроительной отрасли Индии представляет собой ярко выраженный закономерный этап ее технологического развития, успешность которого напрямую зависит от готовности всех сотрудников отрасли к происходящим изменениям. Настоящее исследование не ограничилось перечислением существующих трудностей, а предложило структурную модель, позволившую выявить определяющие барьеры, стоящие на пути формирования квалифицированного кадрового потенциала.

Проведенный анализ убедительно показал, что изолированные меры не принесут должного результата, а для формирования прочной основы необходимы согласованные действия, начинающиеся с инвестиций в инфраструктуру обучения и переподготовки кадров (B1) и развитие взаимодействия между отраслью и академическим сообществом (B3). Эти действия должны быть поддержаны со стороны государства посредством развития цифровой инфраструктуры (B6) и ясной нормативной базы (B8), при одновременных усилиях со стороны руководителей предприятий по преодолению сопротивления изменениям внутри организаций (B2).

Выявленная в настоящем исследовании иерархия барьеров позволяет более обоснованно распределять ресурсы по тем направлениям, в которых их использование способно обеспечить наибольший эффект. Это создает условия, при которых кадровый потенциал автомобильной отрасли Индии сможет не только адаптироваться к требованиям цифровой эпохи, но и стать одним из ключевых факторов инновационного развития и глобальной конкурентоспособности.

Перспективы дальнейших исследований могут быть связаны со.

– статистической проверкой модели. Разработанная модель ISM может быть статистически проверена на более широкой выборке с использованием методов моделирования структурными уравнениями (SEM);

– проведением исследований по отдельным направлениям отрасли. Более детализированная картина барьеров может быть получена при воспроизведении данного исследования применительно либо к экосистеме электромобилей (EV), либо к отрасли производства автокомпонентов;

– динамическим моделированием. Перспективным направлением дальнейшей работы представляется использование метода системной динамики (SD), который позволит моделировать влияние государственных решений на устранение барьеров во времени.

References

- Bajpai H. (2019). *The Future of Work in the Automotive Sector in India*. CIS India. <https://cis-india.org/internet-governance/future-of-work-in-automotive-sector.pdf/view>.
- Debnath B., Singh R.K., Nayak M. (2023). An Integrated Best–Worst Method and Interpretive Structural Modeling Approach for Analyzing Barriers in Circular Economy Adoption. *Journal of Cleaner Production*, 391: 136337.
- Faisal S., Attfield S., Blandford A. (2009). *A Classification of Sensemaking Representations*. In: CHI. Workshop on Sensemaking. <http://web4.cs.ucl.ac.uk/ucl/c/annb/docs/SFchi09preprint.pdf>.
- Fauzdar C. (2022). MICMAC Analysis of Industry 4.0 in Indian Automobile Industry. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 81(7): 670-677.
- Horváth D., Szabó L. (2019). Driving Forces and Barriers of Industry 4.0: Multinational Companies' Executives' Perspectives. *Technological Forecasting & Social Change*, 146: 346-360.
- Kamble S., Gunasekaran A., Gawankar S. (2018a). Barriers and Challenges for Implementing Industry 4.0 in Indian Manufacturing Organizations: A Framework Analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 126: 111-121.
- Kamble S.S., Gunasekaran A., Gawankar S.A. (2018b). Sustainable Industry 4.0 Framework: A Systematic Literature Review Identifying the Current Trends and Future Perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117: 408-425. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>.
- Rawat P., Yashpal, Purohit J.K. (2024). Evaluating and Prioritizing the Barriers of Industry 4.0 Implementation in Indian SMEs: An ISM Approach. *Journal of the Institution of Engineers (India), Series C*, 105(3): 543-560.
- Luthra S., Mangla S.K. (2018). Evaluating Challenges to Industry 4.0 Initiatives for Supply Chain Sustainability in Emerging Economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117: 168-179. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>
- Human Resource and Skill Requirements in the Automotive Sector* (2019). Skill India. <https://skillsip.nsdcindia.org/knowledge-products/human-resource-and-skill-requirements-automotive-sector-2026>.
- Ojha R.S., Kumar A., Kumar V., Raja A.R., Singh S. (2024). Industry 4.0 Implementation Barriers in Automotive Manufacturing Industry: Interpretive Structural Modelling Approach. *Concurrent Engineering*, 32(1-4): 1063293X241287687.
- Ruben R.B., Rajendran C., Ram R.S., Kouki F., Alshahrani H.M., Assiri M. (2023). Analysis of Barriers Affecting Industry 4.0 Implementation—An ISM Methodology and MICMAC Approach. *Heliyon*, 9(12): e22506.
- Ruslin R. (2022). Semi-structured Interview: A Methodological Reflection on Qualitative Research. *Journal of Research Methodology and Evaluation*, 12(1): 222-229.
- Sharma V., Paliwal M.K. (2026). Driving Industrial Transformation: Exploring the Adoption, Impact, and Strategic Frameworks for Industry 4.0 Technologies in Indian Manufacturing Sectors. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 39(3): 468-488.
- Singh P.P., Kaur S. (2025). Digital Transformation in Indian Automobile Industry. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 6(6): 9915-9922.
- Warfield J. N. (1973). Binary Relations and Their Applications to the Structural Modeling of Large Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(2): 133-140.

Об авторах

Анжали Тхагран

Научный сотрудник кафедры физики Национального университета Тайваня (Тайбэй, Тайвань); исследовательский центр прикладных наук Academia Sinica (Тайбэй, Тайвань). ORCID: 0000-0003-1250-2166.

Раджкумар Сингх Ратор

PhD, доцент, руководитель магистерской программы «Компьютерные и информационные технологии» в Школе технологий Кардиффского столичного университета (Кардифф, Великобритания). ORCID: 0000-0003-4571-1888

Область научных интересов: безопасность интернета вещей, безопасность киберфизических систем (CPS), сети дронов, внутритранспортные коммуникации.

Нимиш Санги

Сооснователь, технический директор и главный дата-сайентист SaaS-платформы Paybooks для управления персоналом и расчета заработной платы в индийских компаниях; частный венчурный инвестор, инвестирующий в SaaS-решения, программное обеспечение и автоматизацию на основе искусственного интеллекта в Индии, США и Сингапуре; MBA, Индийский институт менеджмента (Ахмедабад, Индия); бакалавр по электротехнике, Индийский технологический институт (Канпур, Индия).

В. Махешвари

Школа информационных технологий, Веллорский технологический институт (Веллор, Индия). Scopus ID: 57218144235

Область научных интересов: уязвимости блокчейн-технологий, тестирование программного обеспечения, безопасность программного обеспечения, объектно-ориентированный анализ.

maheshwari.v2014@vit.ac.in

Суприя Ламба Сахдев

PhD, доцент, заместитель директора Университета Альянса (Карнатака, Индия); Международная школа бизнеса Эмити, Университет Эмити (Нойда, Индия). ORCID: 0000-0001-5141-5538.

Область научных интересов: открытые инновации, финтех, блокчейн, диалоговый искусственный интеллект, международный бизнес. slamba@amity.edu

Барьеры формирования стратегии кадрового обеспечения автомобильной промышленности: эмпирический анализ легкового автомобилестроения Индии методами ISM и MICMAC
 Barriers to Workforce Strategy Development in the Automotive Industry: An Empirical Analysis of the Indian Passenger Vehicle Sector Using ISM and MICMAC
 汽车工业劳动力战略制定的障碍：基于ISM和MICMAC的印度乘用车行业实证分析

Тхакран А., Ратор Р.С., Санги Н., Махешвари В., Сахдев С.Л.
 Thakran A., Rathore R.S., Sanghi N., Maheshwari V., Sahdev S.L.

About the Authors

Anjali Thakran

Research Fellow, Department of Physics, National Taiwan University (Taipei, Taiwan); Research Center for Applied Sciences, Academia Sinica (Taipei, Taiwan). ORCID: 0000-0003-1250-2166.

Rajkumar Singh Rathore

PhD, Senior Lecturer, Associate Professor, and Program Director for the MSc in Computing and IT, School of Technologies, Cardiff Metropolitan University (Cardiff, United Kingdom). ORCID: 0000-0003-4571-1888.

Research interests: IoT security, cyber-physical system security, drone networking, in-vehicle communication.

Nimish Sanghi

Co-founder, CTO, and Chief Data Scientist of Paybooks, a SaaS HR and payroll platform for the Indian market; angel investor in SaaS software and AI-driven automation across India, the United States, and Singapore; MBA, Indian Institute of Management (Ahmedabad, India), Bachelor of Technology in Electrical Engineering, Indian Institute of Technology (Kanpur, India).

V. Maheshwari

School of Information Technology, Vellore Institute of Technology (Vellore, India). Scopus ID: 57218144235.

Research interests: blockchain vulnerabilities, software testing, software security, object-oriented analysis.

maheshwari.v2014@vit.ac.in

Supriya Lamba Sahdev

PhD, Associate Professor and Deputy Director, Alliance University (Karnataka, India); Amity International Business School, Amity University (Noida, India). ORCID: 0000-0001-5141-5538.

Research interests: open innovation, fintech, blockchain, conversational AI, international business.

slamba@amity.edu

作者简介

Anjali Thakran

台湾大学物理学系科研人员（台北，台湾）；中央研究院 应用科学研究中心（台北，台湾）。ORCID：0000-0003-1250-2166。

Rajkumar Singh Rathore

博士，副教授，卡迪夫城市大学技术学院（卡迪夫，英国）“计算机与信息技术”硕士项目负责人。ORCID：0000-0003-4571-1888。

研究方向：物联网安全、信息物理系统（CPS）安全、无人机网络、车内通信。

Nimish Sanghi

印度企业人力资源与薪酬管理SaaS平台 Paybooks（班加罗尔，印度）的联合创始人、技术总监兼首席数据科学家；私人风险投资人，投资于印度、美国和新加坡的SaaS解决方案、软件及基于人工智能的自动化项目；工商管理硕士（MBA），印度管理学院（Indian Institute of Management，艾哈迈达巴德，印度）；电气工程学士，印度理工学院（Indian Institute of Technology，坎普尔，印度）。

V. Maheshwari

韦洛尔理工学院信息技术学院（韦洛尔，印度）。Scopus ID：57218144235。

研究方向：区块链技术漏洞、软件测试、软件安全、面向对象分析。maheshwari.v2014@vit.ac.in

Supriya Lamba Sahdev

博士，副教授，联盟大学（卡纳塔克邦，印度）副主任；阿米提国际商学院，阿米提大学（Amity University，诺伊达，印度）。

ORCID：0000-0001-5141-5538。

研究方向：开放式创新、金融科技、区块链、对话式人工智能、国际商务。

slamba@amity.edu

Статья поступила в редакцию 15.01.2026; после рецензирования 07.02.2026 принята к публикации 15.02.2026. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The article was submitted on 15.01.2026; revised on 07.02.2026 and accepted for publication on 15.02.2026. The authors read and approved the final version of the manuscript.

文章于 15.01.2026 提交给编辑。文章于 07.02.2026 已审稿。之后于 15.02.2026 接受发表。作者已经阅读并批准了手稿的最终版本。