

УДК 330.47

**Оценка готовности российских промышленных предприятий к
цифровой трансформации**

Чапо Д., Калязина С.Е., Багаева И.В., Зотова Е.А.

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого»

**Assessment of the readiness of Russian industrial enterprises for digital
transformation**

Сапо D., Kalyazina S.E., Bagaeva I.V., Zotova E.A.

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University

Аннотация: Целью статьи является оценить степень готовности и уровень зрелости российских промышленных предприятий для целей успешной реализации цифровой трансформации. Задачей статьи является на примере исследованных производственных компаний определить, на каком этапе зрелости и уровне готовности к цифровой трансформации они находятся. Результатом исследования является проведенная оценка компаний. Сделаны выводы о том, что дает повышение уровня зрелости, какие шаги необходимо предпринимать для дальнейшего повышения уровня зрелости компаний на пути к полной цифровой трансформации. Методологией исследования является тематическое исследование с целостным подходом.

Ключевые слова: цифровая трансформация, IT-решения, информационные технологии, Индустрия 4.0.

Summary: The purpose of the article is to assess the degree of readiness and maturity level of Russian industrial enterprises for the purposes of the successful implementation of digital transformation. The objective of the article is to determine, at the example of the studied manufacturing companies, at what stage of maturity and level of readiness for digital transformation they are. The result of the study is a valuation of companies. Conclusions are drawn on what gives an increase in the level of maturity, what steps should be taken to further increase

the level of maturity of companies on the path to full digital transformation. The research methodology is a case study with a holistic approach.

Key words: digital transformation, IT solutions, information technology, Industry 4.0.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект №19-18-00452)

Введение

Цифровая трансформация связана с парадигмой Индустрия 4.0 и позволяет использовать преимущества, которые дают новые технологии, для повышения ценности бизнеса. С организационной точки зрения цифровая трансформация рассматривается как трансформация бизнес-процессов, моделей и видов деятельности с целью улучшения показателей производства, снижения затрат и повышения конкурентоспособности на рынке [1,2]. Цифровизация означает преобразование бизнес-процессов с точки зрения человеческих ресурсов и технологий. В процессе цифровизации меняется организационная культура, бизнес-модель, требуемая квалификация персонала, используются новые технологии, меняется ИТ-философия (приоритет гибких методов разработки) и т.п.

Успех в технологических разработках и инновации в производственных процессах меняют производственную среду [3]. Концепция Industry 4.0 объединяет цифровую и физическую сферу в новом технологическом измерении, которое влияет на экономику и рынки путем повышения производительности, улучшения производственных процессов, изменения в жизненном цикле продукта, разработки новых бизнес-моделей, создания новых требований, в том числе к трудовым навыкам [4]. Industrie 4.0 выступает за новую организационную структуру в производственно-сбытовой цепочке на протяжении жизненного цикла продукта. Повышение

производительности производства следует за внедрением технологий Industrie 4.0 благодаря новым способам производства. Производственный процесс обеспечивается кибер-физическими производственными системами (CPPS).

Цифровая трансформация – это сложный процесс, требующий определённого уровня зрелости организации. В рамках настоящей статьи на примере российских промышленных предприятий поставлена задача оценить готовность российского бизнеса к цифровой трансформации [5,6].

Методология

Для целей исследования использован метод тематического исследования с целостным подходом. Проведённый анализ включает оценку уровня разработки Industrie 4.0 и уровня готовности компаний. Это даёт представление об уровне производственной стратегии Industrie 4.0 в соответствии с четырьмя ключевыми аспектами:

- Уровень интеграции технологий: каков уровень автоматизации и интеграции машин и операционных систем?
- Автономное рабочее место: каков уровень самооптимизации процессов и уровень автономно управляемых заготовок?
- Данные: каков уровень операций сбора данных и использования данных, использования облачных вычислений, ИТ и защиты данных?
- Ресурсные возможности: каков уровень цифрового моделирования и готовности оборудования для Industrie 4.0?

Таблица 1 – Уровни цифровой готовности [7]

Уровень готовности	Уровень 1 начинающий	Уровень 2 промежуточный	Уровень 3 опытный	Уровень 4 эксперт
Автоматизация	Небольшое количество машин можно контролировать с помощью автоматизации	Некоторые машины и системные инфраструктуры могут контролироваться с помощью автоматизации	Большинство машин и системных инфраструктур можно контролировать с помощью автоматизации	Машины и системы могут полностью контролироваться с помощью автоматизации
Интеграция машин и операционной системы (M2M)	Машины и системы не имеют возможности M2M	Машины и системы в некоторой степени совместимы	Машины и системы частично интегрированы	Машины и системы полностью интегрированы
Готовность оборудования к Индустрии т.е. 4.0	Для соответствия требованиям Industr, т.е. модели 4.0, требуется капитальный ремонт	Некоторые машины и системы могут быть обновлены	Машины уже отвечают некоторым требованиям и могут быть модернизированы при необходимости	Машины и системы уже отвечают всем будущим требованиям
Автономно управляемые детали	Детали с автономным управлением не используются	Детали с автономным управлением не используются, но есть пилоты в стадии реализации	Автономно управляемые детали, используемые в выбранных областях	Автономные заготовки широко применяются
Самооптимизирующиеся процессы	Процессы самооптимизации не используются	Процессы самооптимизации не используются, но есть пилотные проекты в более продвинутых областях бизнеса	Самооптимизирующиеся процессы используются в выбранных областях	Самооптимизирующиеся процессы широко используются

Уровень готовности	Уровень 1 начинающий	Уровень 2 промежуточный	Уровень 3 опытный	Уровень 4 эксперт
Цифровое моделирование	Нет цифрового моделирования	Некоторые процессы используют цифровое моделирование	Большинство процессов используют цифровое моделирование	Полное цифровое моделирование используется для всех соответствующих процессов
Сбор данных операций	Данные собираются вручную при необходимости, например, отбор проб для контроля качества	Необходимые данные собираются в цифровом виде в определенных областях	Комплексный сбор цифровых данных в нескольких областях	Комплексный автоматический сбор цифровых данных по всему процессу
Использование данных операций	Данные используются только для качества и в целях регулирования	Некоторые данные используются для управления процессами	Некоторые данные используются для контроля и оптимизации процессов, например, профилактическое обслуживание	Все данные используются не только для оптимизации процессов, но и для принятия решений
Использование облачных решений	Облачные решения не используются	Запланированные первоначальные решения для облачного программного обеспечения, хранения данных и анализа данных	Пилотные решения, внедренные в некоторых сферах бизнеса	Внедрение множества решений в рамках всего бизнеса

Уровень готовности	Уровень 1 начинающий	Уровень 2 промежуточный	Уровень 3 опытный	Уровень 4 эксперт
ИТ и безопасность данных	Планируются решения по информационной безопасности	Решения по информационной безопасности были частично внедрены	Внедрены комплексные решения в области безопасности ИТ с планами, разработанными для устранения любых пробелов	Решения по информационной безопасности были внедрены для всех соответствующих областей и часто пересматриваются для обеспечения соответствия

Результаты

Было проведено исследование 13 российских производственных компаний. Краткая информация об исследованных компаниях приведена ниже.

1. Компания из аэрокосмической отрасли, основным бизнесом которой является производство комплектующих для российского авиалайнера. Компания обеспечивает полную поддержку жизненного цикла продукта от концептуального проектирования компонентов до запуска серийного производства. Чтобы сократить время выхода на рынок, компания нуждалась в достаточном количестве программных решений, которые включали бы каждый этап жизненного цикла продукта. Текущий уровень цифровой готовности – 2. Для перехода на следующий уровень компании целесообразно применять технологии, поддерживающие анализ больших данных.
2. Производственная компания – крупный производитель промышленных клапанов и вентилях. Компания хочет автоматизировать процессы разработки продуктов, сэкономив время на проектирование и планирование производства, а также повысить качество продуктов и

- процессов управления. Текущий уровень цифровой готовности – 1. Для перехода на следующий уровень компания должна интегрировать и соединить уровни информационных и операционных технологий для обеспечения взаимодействия всех компонентов предприятия.
3. Компания из области энергетики и коммунальных услуг, которая нуждалась в обновлении производственных мощностей, в обучении персонала, в оптимизации внутренних бизнес-процессов и в сокращении жизненного цикла продукции оборудования при сохранении высокого качества и надежности работы. Текущий уровень цифровой готовности – 2. Для перехода на следующий уровень должны быть внедрены технологии, поддерживающие анализ больших данных.
 4. Компания из области машиностроения – крупный производитель оборудования и запчастей для легкой, тяжелой и внедорожной техники с производственными мощностями в восьми регионах России и в четырех зарубежных странах. Компания приняла стратегическое решение в области реинжиниринга процессов проектирования, чтобы внедрить уникальную бизнес-модель, охватывающую весь жизненный цикл продукта (разработка, производство и послепродажное обслуживание). Текущий уровень цифровой готовности – 1. Для перехода на следующий уровень компания сначала должна обеспечить связь всех производственных подразделений в единую систему, после чего интегрировать и соединить уровни информационных и операционных технологий для перехода к единой цифровой модели предприятия.
 5. Компания из области энергетики, коммунального и промышленного оборудования, разрабатывающая и поставляющая высокотехнологичные системы безопасности для атомной и газовой промышленности. Текущий уровень цифровой готовности – 1. Для перехода на следующий уровень компания должна внедрить бизнес-приложения, отражающие основные бизнес-процессы.

6. Компания из энергетической области, предоставляющая комплексные электротехнические услуги от проектирования и производства до ввода в эксплуатацию и технического обслуживания. В связи с быстро растущим развитием нового бизнеса руководство осознало, что компании необходимо ускорить проектирование и автоматизировать процессы проектирования продукции и планирования производства. Текущий уровень цифровой готовности – 1. Для перехода на следующий уровень должны быть автоматизированы все основные бизнес-процессы компании, что повысит эффективность производства.
7. Компания из области автомобилестроения, охватывающая весь цикл производства грузовых автомобилей, от разработки, изготовления, сборки автомобилей и компонентов до продажи и послепродажного обслуживания. Текущий уровень цифровой готовности – 2. Для перехода на следующий уровень компания должна внедрить технологии и приложения для обработки и комбинирования больших разнородных данных и развертывания систем ERP и MES.
8. Компания – производитель оборудования для аэрокосмической промышленности и энергетики. Компания является важным участником в большой цепочке поставок, поэтому она стремится внедрить лучшие инструменты для разработки продуктов и управления данными. Текущий уровень цифровой готовности – 1. Для перехода на следующий уровень компании необходимо полностью интегрировать уровни информационных и операционных технологий и иметь систему MES, работающую в режиме реального времени.
9. Компания, занимающаяся проектированием, производством и послепродажным обслуживанием авиационных двигателей. Для удовлетворения растущих потребностей авиационной отрасли компания приняла решение использовать технологию управления жизненным циклом продукции (PLM) и провела тщательную оценку

высококачественных решений CAD / CAM / CAE. Текущий уровень цифровой готовности – 1. Для перехода на следующий уровень должны быть интегрированы все приложения, предоставляющие данные для управления бизнесом.

10. Компания – производитель систем кондиционирования воздуха, герметизации салона и систем жизнеобеспечения самолетов. Компания также производит широкий ассортимент оборудования и товаров для автомобильной, газовой и других отраслей промышленности. Текущий уровень цифровой готовности – 2. Для перехода на следующий уровень необходимо объединить анализ больших данных с системами ERP и MES.

11. Компания из области машиностроения, которая планировала использовать новую технологию CAD на каждом этапе жизненного цикла разработки автомобиля, от концептуального проектирования до управления качеством. После внедрения новых программных решений компания создала единый рабочий процесс разработки и производства, охватывающий концептуальное проектирование, планирование производства, изготовление инструментов, производство, управление качеством. Текущий уровень цифровой готовности – 2. Для перехода на следующий уровень необходимо разработать полную цифровую модель предприятия и создать единый рабочий процесс для всех направлений бизнеса.

12. Компания из области автомобилестроения и транспорта, которая приняла решение принять комплексный подход к внедрению информационных технологий, создать интегрированную информационную систему корпоративного уровня. Текущий уровень цифровой готовности – 3. Для перехода на следующий уровень компания должна перейти к применению прогнозной аналитики.

13. Компания – крупный производитель газовых турбин. Бизнес-задачи компании включают сокращение времени выхода на рынок для удовлетворения потребительского спроса и снижение затрат на проектирование и запуск производства. Текущий уровень цифровой готовности – 1. Для перехода на следующий уровень компания должна интегрировать системы ERP и MES с системой PLM.

Исследование указанных выше компаний показывает, что многие крупные российские предприятия модернизируют свои производственные мощности. В целом в России принята программа переоснащения (2015–2020 годы), которая предполагает комплексную модернизацию предприятий за счет внедрения инновационных технологий.

Внедряемые решения позволяют:

- сократить время от идеи продукта до производства;
- уменьшить количество ошибок проектирования;
- создать единую среду разработки и производства продукции;
- ускорить производственные циклы за счет удаления лишних промежуточных операций;
- сократить время выхода на рынок;
- улучшить производительность и качество дизайна;
- быстрее внедрять инновации;
- организовать анализ отклонений;
- автоматизировать все основные этапы проектирования и разработки продукта;
- увеличить производственные мощности и гибкость, чтобы удовлетворить спрос;
- повысить качество проектной документации;
- стандартизировать инструменты планирования, анализа, моделирования и планирования производства;
- перейти на цифровое моделирование от физических тестов.

При этом целесообразно оценивать уровень зрелости предприятий. Требуемый уровень зрелости помогает преобразовать всю организацию и достичь полной бизнес-модели Industry 4.0.

Предлагается использовать модель оценки зрелости Industrie 4.0 Maturity Index [8]. В этой модели выделяются следующие этапы зрелости:

1. Компьютеризация – обеспечивает основу для цифровизации. На этом этапе различные информационные технологии используются в компании изолированно друг от друга. Компьютеризация уже хорошо развита в большинстве компаний и в основном используется для более эффективного выполнения повторяющихся задач. Компьютеризация обеспечивает такие преимущества, как более дешевое производство с более высокими стандартами и степенью точности.
2. На этапе подключения изолированное развертывание информационных технологий заменяется подключенными компонентами. Широко используемые бизнес-приложения связаны между собой и отражают основные бизнес-процессы компании. Части систем операционных технологий (ОТ) обеспечивают связь и функциональную совместимость, но полная интеграция уровней ИТ и ОТ еще не произошла. Интернет-протокол (IP) становится все более и более широко распространенным даже в цехах, что необходимо для внедрения Интернета вещей.
3. На этапе видимости датчики позволяют захватывать процессы и записывать в режиме реального времени события и состояния. Это позволяет постоянно поддерживать актуальную цифровую модель заводов. Необходим комплексный сбор данных по всей компании. Интеграция систем PLM, ERP и MES обеспечивает комплексную картину.
4. На этапе прозрачности компания должна понять, почему что-то происходит, и использовать это понимание для получения знаний

посредством анализа первопричин. Используются технологии для анализа больших данных и для поддержки принятия решений. Приложения для работы с большими данными развертываются параллельно с системами бизнес-приложений (ERP, MES). Прозрачность в отношении соответствующих взаимодействий может, например, использоваться для мониторинга состояния машин и оборудования.

5. На этапе прогнозирования потенциала компания может моделировать различные будущие сценарии и выявлять наиболее вероятные.
6. Прогнозирующая способность является фундаментальным требованием для автоматизированных действий и автоматического принятия решений. Непрерывная адаптация позволяет компании делегировать определенные решения ИТ-системам, чтобы она могла максимально быстро адаптироваться к изменяющейся бизнес-среде. Степень адаптируемости зависит от сложности решений и соотношения затрат и выгод.

Уровень готовности компании для Индустрии 4.0 оценивается по следующим направлениям: технологическая интеграция, автономное рабочее место, данные, возможность ресурсов.

На уровне компьютеризации система ERP не связана с системами бизнес-приложений компании. Это означает, что компания полуавтоматизирована, и соответствующие данные с машин не связаны с рабочим заданием. На уровне подключения производство может запускаться автоматически в режиме реального времени. На уровне видимости системы ERP, MES и PLM интегрированы и дают четкую картину бизнес-процессов. Технологические уровни – системы CAM / CAE и PDM. Бизнес-стратегии производственных предприятий должны быть направлены на внедрение новых технологий в жизненный цикл производства. Для более целенаправленного достижения целевого уровня цифровой зрелости необходима модель корпоративной архитектуры.

Результат исследования 13 кейсов следующим образом отражает уровень зрелости исследованных российских компаний: 4 компании находятся на уровне компьютеризации, 4 компании на уровне подключения, 4 компании на стадии видимости и 1 компания на стадии прогнозирования потенциала.

Выводы

Оценка рассмотренных компаний с точки зрения готовности к Индустрии 4.0 показывает, что ведущие российские промышленные предприятия уверенно движутся по пути цифровой трансформации. Многие ещё в начале пути, но созданы предпосылки для успешного внедрения цифровых технологий – у рассмотренных компаний есть шанс достичь более высокого уровня развития интеллектуального производства и сделать компании технологическими лидерами в соответствующих отраслях промышленности. Поскольку уровень цифровой готовности предприятий значительно отличается по отраслям экономики, важно провести аналогичные исследования предприятий других отраслей.

Список литературы

1. J.Lee, E.Lapira, B. Bagheri, H.Kao; Recent advances and trends in pre-dictive manufacturing systems in big data environment; Science Direct October 2013
2. A.C. Pereira, F. Romero, A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0. concept, Science Direct, Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June '017, Vigo (Pontevedra), Spain
3. Ильяшенко О.Ю., Ильин И.В., Лепехин А.А. Инновационное развитие ИТ-архитектуры предприятия посредством внедрения системы бизнес-аналитики. Наука и бизнес: пути развития. 2017. № 8 (74). С. 59-66.
4. Tien JM, The next industrial revolution: Integrated services and goods, Journal of System Sciences and Systems Engineering, 2012;21:257-296.

5. Зайченко И.М., Смирнова А.М., Борреманс А.Д. Цифровая трансформация управления промышленными предприятиями: применение беспилотных летальных аппаратов // Научный вестник Южного института менеджмента. 2018. № 4. С. 76-81.
6. Нефедова Л.А., Лёвина А.И., Лепехин А.А. Цифровая трансформация предприятий с учётом автоматизации технологических процессов аддитивного производства. Экономика и предпринимательство. 2019. № 1 (102). С. 1206-1208.
7. Agca, O., Gibson, J., Godsell, J., Ignatius, J., Davies, C. W., & Xu, O. (2017). An Industry 4 readiness assessment tool. Coventry: WMG-The University of Warwick.
8. Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Ten Hompel, M., & Wahlster, W. (Eds.). (2017). Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies. Utz, Herbert.

Список литературы (транслит)

1. J.Lee, E.Lapira, B. Bagheri, H.Kao; Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment; Science Direct October 2013
2. A.C. Pereira, F. Romero, A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0. concept, Science Direct, Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June '017, Vigo (Pontevedra), Spain
3. Il'yashenko O.YU., Il'in I.V., Lepexhin A.A. Innovacionnoe razvitie IT-arhitektury predpriyatiya posredstvom vnedreniya sistemy biznes-analitiki. Nauka i biznes: puti razvitiya. 2017. № 8 (74). S. 59-66.
4. Tien JM, The next industrial revolution: Integrated services and goods, Journal of System Sciences and Systems Engineering, 2012;21:257-296.
5. Zajchenko I.M., Smirnova A.M., Borremans A.D. Cifrovaya transformaciya upravleniya promyshlennymi predpriyatiyami: primenenie

bespilotnyh letal'nyh apparatov // Nauchnyj vestnik YUzhnogo instituta menedzhmenta. 2018. № 4. S. 76-81.

6. Nefedova L.A., Lyovina A.I., Lepekhin A.A. Cifrovaya transformaciya predpriyatij s uchyotom avtomatizacii tekhnologicheskikh processov additivnogo proizvodstva. Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2019. № 1 (102). S. 1206-1208.

7. Agca, O., Gibson, J., Godsell, J., Ignatius, J., Davies, C. W., & Xu, O. (2017). An Industry 4 readiness assessment tool. Coventry: WMG-The University of Warwick.

8. Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Ten Hompel, M., & Wahlster, W. (Eds.). (2017). Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies. Utz, Herbert.

Информация об авторах

ЧАПО Доротея

- Магистрант, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
- Рабочий адрес: 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29, 3 учебный корпус, ауд. 409
- Электронная почта: dorotea.capo@gmail.com

КАЛЯЗИНА София Евгеньевна

- Магистрант, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
- Домашний адрес: 196602, Россия, г. Санкт-Петербург, Павловское ш., д.23/2, кв.7.
- Электронная почта: kaliazina.s@gmail.com

БАГАЕВА Ирина Владимировна

- К.полит.н., доцент Высшей школы управления и бизнеса, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
- Рабочий адрес: 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул.

Политехническая, д.29, 3 учебный корпус, ауд. 409

- Электронная почта: irinabagaeva1@gmail.com

ЗОТОВА Елизавета Александровна

- Ассистент Высшей школы управления и бизнеса, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

• Рабочий адрес: 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29, 3 учебный корпус

- Электронная почта: zea0284@gmail.com

Информация об авторах (английский)

Dorotea Capo

- Master student, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University
- Address: 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya str. 29, bld.3
- E-mail: dorotea.capo@gmail.com

Sofia E. Kalyazina

- Master student, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University
- Address: 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya str. 29, bld.3
- E-mail: kaliyazina.s@gmail.com

Irina V. Bagaeva

- PhD, Associated professor of the Higher School of Business and Management, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University
- Address: 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya str. 29, bld.3
- E-mail: irinabagaeva1@gmail.com

Elizaveta A. Zotova

- Assistant of the Higher School of Business and Management, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University
- Address: 195251, Russia, St. Petersburg, Polytechnicheskaya str. 29, bld.3
- E-mail: zea0284@gmail.com