Петр Легостаев

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

Наука, мировая практика и механизм создания системы

Полное руководство для собственника: от типа производства и законов потока — через историю, рынок решений, статистику провалов и успехов, метрики и методику выбора — до создания собственной системы с нуля

ERP • MRP • MES • APS • Lean • TOC • DDMRP • ISA-95 • Индустрия 4.0 • ИИ

Компания «Модуль»

2026

Легостаев П. А.
Управление производством: наука, мировая практика и механизм создания системы. — Компания «Модуль», 2026.

Книга проводит собственника и руководителя производственной компании через весь путь построения системы управления производством: от понимания типа производства и законов производственного потока через историю методов, мировой рынок решений, статистику провалов и успехов, метрики и методику выбора — до создания собственной системы и применения искусственного интеллекта.

Факты о рынке, продуктах, ценах и возможностях технологий приведены по состоянию на 2025–2026 годы со ссылками на источники.

© Легостаев П. А., 2026
© Компания «Модуль», 2026 · modyl-erp.ru

Содержание

От автора.....5
Введение.....7
Кому и зачем эта книга.....7
Почему эта тема так важна.....7
Как устроена книга.....8
О цифрах и источниках: как читать статистику.....9
Условные обозначения.....9
Часть I. Производство как объект управления.....10
Глава 1. Что такое производство и что значит им управлять.....11
Глава 2. Типы производств: к какому относится ваше.....14
Глава 3. Физика производственного потока.....18
Глава 4. Деньги производства.....21
Часть II. История: как человечество училось управлять производством.....24
Глава 5. От мастерской к конвейеру (1776–1945).....25
Глава 6. Тойота и бережливое производство (1930–1990).....27
Глава 7. Компьютерная эра: MRP → MRP II → ERP (1960–2020).....29
Глава 8. Теория ограничений и альтернативные модели планирования.....32
Глава 9. Цех становится цифровым: MES, ISA-95 и Индустрия 4.0.....36
Часть III. Карта решений: классы систем и мировые продукты.....39
Глава 10. Архитектура: какая система за что отвечает.....40
Глава 11. ERP: мировой рынок и как в нём ориентироваться.....43
Глава 12. MES, APS и цеховые системы.....46
Глава 13. Купить, настроить или создать: экономика выбора.....48
Часть IV. Почему внедрения успешны или провальны: статистика и кейсы.....51
Глава 14. Что говорит статистика.....52
Глава 15. Разбор провалов.....55
Глава 16. Разбор успехов.....59
Глава 17. Факторы успеха: что установила наука.....62
Часть V. Метрики: как измерять производство и эффект системы.....65
Глава 18. Система производственных показателей.....66
Глава 19. Экономика проекта: затраты, выгоды, бизнес-кейс.....70
Часть VI. Как выбрать систему.....73
Глава 20. Диагностика: зрелость и реальная потребность.....74

Глава 21. Методика выбора: от требований до договора....77
Глава 22. Подбор по типу производства и масштабу....81
Часть VII. Как создать систему с нуля: полный механизм....83
Глава 23. Обследование: увидеть реальное производство....84
Глава 24. Модель данных производственной системы....87
Глава 25. Алгоритмы планирования: как считает система....91
Глава 26. Исполнение и сбор данных в цехе....96
Глава 27. Архитектура и технологии собственной системы....100
Глава 28. Дорожная карта внедрения....103
Глава 29. Сквозной пример: мебельная фабрика....106
Часть VIII. Искусственный интеллект в управлении производством....108
Глава 30. Краткая история ИИ в производстве....109
Глава 31. Что ИИ умеет в производстве: карта применений....111
Глава 32. Реальный эффект: что показывают исследования....113
Глава 33. Плюсы, минусы и риски....116
Глава 34. Как встраивать ИИ в систему управления....118
Глава 35. Экономика ИИ: сколько это стоит....121
Заключение....123
Приложение А. Глоссарий....124
Приложение Б. Чек-лист диагностики: 40 вопросов....127
Приложение В. Шаблон сценария требований и оценочная матрица....129
Приложение Г. Карточка проблемы и паспорт контура управления....131
Приложение Д. Шпаргалка формул....132
Приложение Е. Шаблон задания разработчику (в том числе ИИ)....133
Приложение Ж. Источники и литература....134

От автора

Эта книга родилась не в кабинете и не в аудитории, а в цехе.

Наша команда начинала не в ИТ, а на производстве. Мы работали в найме на быстро растущем предприятии и видели, как отсутствие системы управления начинает тормозить рост. Заказов становилось больше, а управлять ими становилось тяжелее: статусы узнавали по телефону, чертежи терялись между офисом, цехом и монтажом, о срыве сроков узнавали от заказчика. Руководство поставило задачу, которая казалась типовой: найти готовую систему на рынке.

Начался знакомый многим путь: совещания, презентации поставщиков, тестовые доступы. И очень быстро выяснилось главное препятствие: проблему, которую нужно было решить, никто не мог чётко сформулировать. Без точного диагноза даже лучшие программы превращались в дорогие и бесполезные инструменты. Пришлось пройти долгий путь, чтобы отделить симптомы от причин. Когда задача наконец обрела ясные очертания, оказалось, что продукта, который закрывал бы её без компромиссов, на рынке нет. Мы построили систему сами — вечерами, после основной смены, опираясь на знание реальных цеховых процессов. Предприятие работает на ней до сих пор, а тот вечерний проект вырос в компанию «Модуль», которая проектирует и внедряет системы управления для производственных и строительных компаний.

Каждый новый проект подтверждал одно и то же наблюдение: **самое трудное в автоматизации производства — не программирование, а понимание.** Понять, как на самом деле проходит заказ. Отличить причину от симптома. Решить, что автоматизировать, что упростить, а что просто отменить. Выбрать правильную логику управления для конкретного типа производства. И только потом — выбрать или построить инструмент.

Когда мы искали литературу, которую можно было бы дать собственнику производства, решившему навести порядок в управлении, мы не нашли книги, которая проводила бы его весь путь: от понимания собственного производства — через историю методов, мировой рынок решений, статистику провалов и успехов — до методики выбора и создания системы. Есть превосходные учебники по исследованию операций, книги о бережливом производстве, руководства по внедрению отдельных продуктов. Но они написаны для разных читателей и редко сходятся в одной картине. Эта книга — попытка собрать такую картину.

Я старался писать так, чтобы книга оставалась полезной через десять лет. Поэтому в ней мало трендов и много принципов: законы производственного потока, логика методов планирования, причины успехов и провалов, способы измерения эффекта. Где приводятся факты, которые неизбежно устареют, — рыночные доли, продукты, цены, возможности моделей искусственного интеллекта, — они датированы и подкреплены источниками. Читатель будущего сможет увидеть, где проходила граница возможного в момент написания, и проверить, какие выводы выдержали испытание временем.

Эта книга не рекламирует ни один продукт, включая наш собственный. Её задача — дать читателю способ мышления, с которым он сможет принять правильное решение сам: купить готовую систему, доработать существующую, создать

собственную или — что тоже бывает правильным ответом — обойтись без программы, изменив правила работы.

Если книга поможет хотя бы одному предприятию избежать дорогой ошибки и построить систему, которой люди действительно пользуются, — она написана не зря.

Петр Андреевич Легостаев,
основатель компании «Модуль»
2026

Введение

Кому и зачем эта книга

Эта книга написана для собственника или руководителя производственной компании, который решил навести порядок в управлении производством и стоит перед выбором: купить готовую систему, доработать существующую или создать собственную. Предполагается, что читатель никогда специально не изучал теорию управления производством, не знает, чем MRP отличается от MES, а APS от ERP, и не обязан разбираться в программировании.

Задача книги — провести такого читателя от нулевой точки до состояния, в котором он:

- понимает, к какому типу относится его производство и какие законы управляют его потоком;
- знает, как за последние сто с лишним лет развивались методы и системы управления производством и почему они устроены именно так;
- ориентируется в мировом рынке решений — от SAP и Oracle до Odoo, 1С и no-code-платформ для цеха;
- понимает по статистике и кейсам, почему внедрения проваливаются и что отличает успешные проекты;
- умеет измерять производство и доказывать эффект системы в деньгах;
- может самостоятельно провести выбор системы или спроектировать собственную — по шагам, с расчётами и шаблонами;
- понимает, что искусственный интеллект реально умеет в управлении производством, сколько он стоит, где он даёт эффект, а где опасен.

Книга не продаёт никакой продукт. Названия программ приводятся как примеры классов решений, а не как рекомендации. Рынок меняется быстрее книг, поэтому главное здесь — не перечни, а способ мышления и критерии, которые останутся верными и через десять лет.

Почему эта тема так важна

Несколько цифр, чтобы понять масштаб ставок.

- Мировой рынок ERP-систем в 2025 году оценивался примерно в 145,6 млрд долларов и растёт на 7–11% в год (Apps Run The World). Рынок систем управления цехом (MES) — около 5,5 млрд долларов в 2024 году (IoT Analytics).
- Анализ более чем 5400 крупных ИТ-проектов, проведённый McKinsey совместно с Оксфордским университетом, показал: в среднем такие проекты превышают бюджет на 45%, срок — на 7% и приносят на 56% меньше ценности, чем планировалось. 17% проектов оборачиваются «чёрными лебедями», способными угрожать существованию компании.

- Gartner в 2024 году прогнозировал, что к 2027 году более 70% недавно начатых ERP-инициатив не достигнут целей своего исходного бизнес-кейса полностью, а часть провалится полностью.
- Компании из списка Fortune Global 500 теряют на внеплановых простоях около 1,4 трлн долларов в год — порядка 11% выручки (Siemens, The True Cost of Downtime, 2024).
- По данным IoT Analytics, 54,4% малых и средних производителей до сих пор управляют цехом вручную — бумагой и электронными таблицами. Исследование Рэя Панко (Университет Гавайев) показало, что даже тщательно сделанные таблицы содержат ошибки в 1% и более формульных ячеек, а почти 90% крупных таблиц содержат хотя бы одну ошибку.

Одновременно есть и обратная сторона: правильно построенные системы дают кратные результаты. Завод Siemens в Амберге за время своего существования увеличил выпуск в восемь раз на той же площади и почти тем же персоналом при качестве 99,9988%. Предприятия сети «маяков» Всемирного экономического форума в среднем повысили производительность труда на 40% и сократили сроки выполнения заказов на 48%. Небольшие производители (медиана — 15 человек), внедрившие простую MRP-систему, в 82% случаев улучшили точность учёта запасов и в 67% — сократили время на планирование.

Между провалом на сотни миллионов и кратным ростом лежит не выбор «правильного вендора», а понимание. Ему и посвящена книга.

Как устроена книга

Книга построена как логическая цепочка из восьми частей. Каждая следующая опирается на предыдущую.

Часть	Вопрос, на который она отвечает
I. Производство как объект управления	Что именно мы собираемся автоматизировать? Какого типа моё производство и какие законы им управляют?
II. История систем управления производством	Откуда взялись MRP, ERP, MES, Lean, TOC и почему они устроены именно так?
III. Карта решений	Какие классы систем существуют, кто лидеры рынка, чем они отличаются и когда что выбирать?
IV. Статистика, провалы и успехи	Почему внедрения проваливаются? Что общего у успешных проектов? Что говорит наука?
V. Метрики и экономика	Как измерить производство и доказать эффект системы в деньгах?
VI. Как выбрать систему	Как пройти путь от диагностики до подписанного договора и не ошибиться?
VII. Как создать систему с нуля	Как спроектировать и построить собственную систему: данные, алгоритмы, цех, архитектура, внедрение?
VIII. Искусственный интеллект	Что ИИ умеет в производстве сегодня, какой эффект даёт, сколько стоит, какие у него риски и как встроить его в систему управления?

В конце — приложения: глоссарий, чек-листы диагностики, шаблоны требований и оценочных матриц, сводка формул и список источников.

Если времени мало, минимальный маршрут такой: главы 2 и 3 (понять своё производство), глава 10 (карта систем), главы 14–17 (почему проекты проваливаются), главы 18 и 21 (метрики и методика выбора), глава 28 (дорожная карта), главы 32 и 34 (эффект ИИ и как его встраивать). Но настоящая ценность возникает при последовательном чтении.

О цифрах и источниках: как читать статистику

В книге много статистики, и честность требует сразу сказать о её ограничениях. В области корпоративного ПО значительная часть «исследований» спонсируется вендорами или консультантами, которые заинтересованы в определённом выводе. Это не делает их бесполезными, но требует навыка чтения.

Четыре вопроса к любой цифре.

1. *Кто заплатил за исследование?* Исследование эффекта MES, спонсированное производителем MES, может быть честным, но его выборка почти наверняка смещена в сторону успешных клиентов.
2. *Как формировалась выборка?* Если опрашивали «лучшие заводы» или «клиентов, согласившихся на интервью», результат описывает лучших, а не среднего.
3. *Что считается успехом?* «Проект уложился в бюджет» и «проект окупился» — разные вещи. Многие опросы измеряют первое.
4. *Есть ли контрольная группа?* Рост показателей после внедрения может объясняться общим ростом рынка, сменой руководителя или одновременной программой бережливого производства.

Сильнее всего доказательства, полученные на больших выборках с контролем (например, работа Hitt, Wu и Zhou 2002 года по 24 тысячам наблюдений), и рецензируемые научные статьи. Слабее — опросы консультантов. Слабее всего — отдельные истории успеха из маркетинговых материалов. В книге источник каждой цифры указан, а там, где данные спорны, это отмечено.

> **Принцип книги.** Цифры из чужих проектов — ориентир, а не обещание. Единственная цифра, которой можно доверять полностью, — та, которую вы сами измерили на своём производстве до и после изменений.

Условные обозначения

В тексте используются выделенные блоки:

> **Ключевая мысль** — главное, что нужно унести из раздела.
> **Пример** — расчёт или история, иллюстрирующая идею.
> **Практика** — что сделать на своём производстве.

Термины при первом упоминании даются на русском и английском, потому что большая часть мировой литературы и документации ПО — англоязычная. Полный глоссарий — в Приложении А.

Часть I. Производство как объект управления

Прежде чем выбирать систему управления, нужно понять, чем именно мы управляем. Большинство неудачных проектов начинается с обратного: сначала выбирают программу, потом пытаются втиснуть в неё производство. В этой части мы разберём, что такое производство с точки зрения управления, какие бывают его типы, какие физические законы определяют поведение производственного потока и как операционные показатели превращаются в деньги.

Глава 1. Что такое производство и что значит им управлять

Производство как система преобразования

С точки зрения управления любое производство — это система, которая превращает входы (материалы, энергию, труд, информацию) в выходы (изделия, услуги) с помощью ресурсов (оборудования, людей, площадей, инструмента). Звучит банально, но из этого определения следуют три важных вывода.

Во-первых, у производства есть поток. Материал не просто «лежит на складе» или «обрабатывается»: он движется через цепочку состояний — от заказа поставщику до отгрузки клиенту. Время, которое изделие проводит в этом потоке, почти всегда в десятки раз больше времени, когда над ним реально работают. На типичном дискретном производстве изделие находится в обработке 5–10% времени прохождения, остальное — ожидание: в очереди к станку, в ожидании партии, комплектующих, решения, транспорта. Это открытие сделала ещё Toyota, и оно до сих пор остаётся главным источником резервов почти любого завода.

Во-вторых, у производства есть ограниченные ресурсы. Станок не может работать больше 24 часов в сутки, сварщик — делать два шва одновременно. Значит, любой план должен учитывать мощность, иначе он останется пожеланием.

В-третьих, производство существует в условиях вариабельности. Время операций колеблется, оборудование ломается, поставщики опаздывают, клиенты меняют заказы, качество бывает нестабильным. Управление производством — это во многом управление вариабельностью: её сокращение там, где можно, и защита от неё там, где нельзя.

Четыре потока предприятия

Удобно представлять производственное предприятие как четыре параллельных потока:

Поток	Что движется	Типичный разрыв
Материальный	сырьё, полуфабрикаты, изделия	деталь изготовлена, а учёт считает её незапущенной
Информационный	заказы, чертежи, спецификации, статусы	цех работает по устаревшей версии чертежа
Поток решений	приоритеты, распределение ресурсов, реакции на отклонения	проблема известна, но никто не уполномочен решить
Денежный	платежи, затраты, себестоимость	себестоимость считается раз в месяц, когда уже поздно что-то менять

Большинство управленческих проблем возникают там, где эти потоки расходятся по времени или содержанию. Цель любой системы управления производством — синхронизировать их: чтобы информация о материальном потоке появлялась вовремя, решения принимались на основе актуальной информации, а денежные последствия решений были видны до того, как решение принято.

Контур управления

Управление в строгом смысле существует там, где есть четыре элемента: желаемое состояние (цель, план, норма), наблюдение фактического состояния, сравнение и возможность воздействия. Это классическая модель обратной связи из кибернетики Норберта Винера (1948):

> Цель → действие → наблюдение → сравнение → отклонение → решение → новое действие.

Без цели есть только активность. Без наблюдения — надежда. Без воздействия — отчётность. Практически любую полезную функцию ERP или MES можно разложить на такой контур: план задаёт желаемое состояние, фактические отметки дают наблюдение, правило выявляет отклонение, ответственный получает сигнал и принимает решение.

Отсюда важное следствие: **ценность информации зависит от момента, когда она получена.** Нехватка материала, обнаруженная за неделю до запуска, — управляемая ситуация: можно заказать, заменить, переставить заказы. Та же нехватка, обнаруженная после остановки участка, — уже потеря. Хорошая система сокращает не только время выполнения работы, но и *время обнаружения отклонения*. Это, пожалуй, самая недооценённая метрика любого проекта автоматизации.

Иерархия решений: от стратегии до смены

Решения на производстве принимаются на разных горизонтах, и для каждого горизонта существуют свои методы и свои классы систем. Эту иерархию сформулировали ещё в 1960–1970-х годах (Энтони, 1965; позднее — модель MRP II Оливера Уайта), и она остаётся основой архитектуры почти всех современных систем.

Уровень	Горизонт	Ключевые решения	Метод / процесс	Типичная система
Стратегический	1–5 лет	мощности, площадки, продуктовая линейка, make-or-buy	стратегическое планирование	BI, финансовые модели
Тактический (агрегатный)	3–18 месяцев	объём выпуска по семействам, численность, запасы	S&OP (планирование продаж и операций)	ERP, системы S&OP/IBP
Мастер-планирование	1–3 месяца	что и сколько выпускать по позициям и неделям	MPS (главный календарный план)	ERP, APS
Планирование материалов и мощностей	дни – недели	что закупить и запустить, когда; хватит ли мощности	MRP, CRP, DDMRP	ERP, APS

Уровень	Горизонт	Ключевые решения	Метод / процесс	Типичная система
Оперативное расписание	смена – неделя	в каком порядке и на каком станке выполнять операции	планирование с конечной мощностью, диспетчирование	APS, MES
Исполнение	минуты – часы	начать, закончить, остановить, сообщить о проблеме, проверить качество	диспетчирование, контроль, андон	MES, терминалы, SCADA

Важно, что решения на каждом уровне задают рамки для нижнего, а обратная связь снизу должна корректировать верхний. Когда эта связь разорвана — например, мастер-план строится без учёта реальной загрузки цеха, а цех работает «по звонкам», игнорируя план, — возникает классическая картина: формально система есть, но управляет предприятием не она.

> **Ключевая мысль.** Система управления производством — это не программа, а набор связанных контуров обратной связи на разных горизонтах: от стратегии до смены. Программа лишь делает эти контуры быстрее и точнее.

Почему предприятие теряет управляемость

Наиболее типичные формы потери управляемости встречаются на предприятиях любого масштаба:

- **Невидимость:** событие произошло, но ответственный о нём не знает.
- **Запаздывание:** информация приходит, когда изменить уже ничего нельзя.
- **Расхождение версий:** разные люди опираются на разные данные — у мастера одна таблица, у снабженца другая, у директора третья.
- **Безответственность:** проблема известна, но не определено, кто должен реагировать.
- **Перегрузка:** важное теряется среди сотен сообщений и показателей.
- **Зависимость от памяти:** критичные знания существуют только в голове конкретного человека — технолога, мастера, самого владельца.

Последний пункт особенно характерен для малого и среднего бизнеса. Пока предприятие небольшое, собственник держит в голове все заказы, приоритеты и особенности. Рост ломает эту модель: при 30–50 сотрудниках и сотне одновременных заказов память перестаёт справляться, и именно в этот момент владельцы обычно начинают искать систему.

Теневые системы

Excel, мессенджеры, бумажные записи и личные блокноты не следует автоматически считать врагами. Они почти всегда показывают, что официальная система (или её отсутствие) не удовлетворяет реальную потребность. Устойчивый обходной процесс — это уже проведённое пользователями исследование. При проектировании системы его нужно изучать, а не запрещать.

Глава 2. Типы производств: к какому относится ваше

Самая распространённая ошибка при выборе системы — считать, что «производство есть производство». На самом деле требования мебельной фабрики, работающей под заказ, и молочного завода, выпускающего одни и те же продукты каждый день, различаются сильнее, чем требования банка и магазина. Система, идеальная для одного типа, может быть бесполезной или вредной для другого.

Существует несколько независимых способов классификации. Чтобы понять своё производство, нужно определить его положение по каждому из них.

Измерение 1. Стратегия выполнения заказа и точка развязки

Главный вопрос: *в какой момент в производстве появляется конкретный клиентский заказ?* Точку, где производство «по прогнозу» переходит в производство «под заказ», называют точкой развязки заказа (Customer Order Decoupling Point, CODP). От её положения зависит почти всё: что планируется по прогнозу, где держать запасы, что обещать клиенту.

Стратегия	Где точка развязки	Что ждёт клиент	Чем управляют прежде всего	Примеры
MTS (Make-to-Stock) — производство на склад	на складе готовой продукции	готовый товар со склада, срок — часы/дни	прогноз спроса, запасы, загрузка линий	продукты питания, бытовая химия, крепёж
ATO (Assemble-to-Order) — сборка под заказ	на складе компонентов	конфигурацию из стандартных модулей, срок — дни	запасы компонентов, конфигуратор, скорость сборки	компьютеры, промышленные насосы, мебель-конструктор
MTO (Make-to-Order) — производство под заказ	на складе сырья	изделие из каталога, изготавливаемое после заказа, срок — недели	мощности, очереди, обещание сроков	металлоконструкции, корпусная мебель, упаковка с печатью
ETO (Engineer-to-Order) — проектирование под заказ	до начала конструкторской работы	уникальное изделие, срок — месяцы	проекты, инженерные данные, изменения, этапы	станки по ТЗ, металлообработка по чертежам, судостроение

Многие предприятия используют смешанную стратегию: например, стандартные позиции выпускают на склад, а нестандартные — под заказ. Тогда систему нужно выбирать под самую сложную и самую денежную часть, но учитывать обе.

> **Пример.** Nike на рубеже 2000-х годов стремилась перейти от модели «произвести и продать» (по прогнозу) к производству под заказы ритейлеров. Именно ради этого затевался проект системы планирования i2 — и именно несоответствие инструмента и стратегии стало частью проблемы, обошедшейся компании в 100 млн долларов потерянных продаж (подробно — в главе 15).

Измерение 2. Структура процесса: матрица Хейса — Уилрайта

В 1979 году Роберт Хейс и Стивен Уилрайт опубликовали в Harvard Business Review статью «Link Manufacturing Process and Product Life Cycles», в которой предложили

матрицу «продукт — процесс». Её идея проста: тип производственного процесса должен соответствовать характеру продукции — номенклатуре и объёмам.

Тип процесса	Номенклатура	Объём на позицию	Как движется работа	Примеры
Проектное (project)	уникальная	1	ресурсы приходят к изделию	строительство, судостроение, крупное оборудование
Позаказное, мелкосерийное (job shop)	очень широкая	1–50	каждый заказ идёт своим маршрутом через функциональные участки	механообработка по чертежам, ремонтные производства, типография
Серийное, партиями (batch)	широкая	десятки–тысячи	партии движутся по нескольким типовым маршрутам	производство мебели, литьё пластмасс, фармацевтика
Массовое, поточное (line / repetitive)	узкая	тысячи–миллионы	все изделия идут по одной линии	автомобили, бытовая техника, электроника
Непрерывное (continuous)	очень узкая	огромный	поток вещества без разделения на штуки	нефтепереработка, химия, металлургия, цемент

Предприятия, находящиеся «на диагонали» матрицы (широкая номенклатура — гибкий процесс; узкая номенклатура — жёсткий процесс), как правило, эффективнее тех, что от неё отклоняются. Для выбора системы это означает следующее:

- для **job shop** главная проблема — очереди, маршрутизация, загрузка участков и обещание сроков; нужны подробные маршруты и планирование с учётом мощности;
- для **batch** — размеры партий, переналадки, последовательность;
- для **line** — ритм (такт), балансировка, вытягивание, качество;
- для **continuous** — рецептуры, режимы, выход продукта, энергия, прослеживаемость партий.

Измерение 3. Дискретное и процессное производство

Дискретное производство выпускает штучные изделия, которые можно посчитать и разобрать: станок, стул, плата. Структура изделия описывается спецификацией (BOM, bill of materials) — деревом «из чего состоит». Здесь важны маршруты, операции, рабочие центры.

Процессное производство работает с веществами: смешивание, реакции, нагрев. Структура описывается рецептурой (formula), а одно и то же сырьё может давать несколько продуктов одновременно (сопутствующие и побочные продукты, co-products и by-products). Здесь важны партии, сроки годности, потенция активного вещества, выход, прослеживаемость.

Многие ERP-системы исторически выросли из дискретного производства и плохо поддерживают процессное (или наоборот). Это один из первых фильтров при выборе.

Измерение 4. Форма потока материалов: V, A, T

Элияху Голдратт, автор теории ограничений, предложил классифицировать заводы по форме потока материалов:

- **V-завод:** из небольшого числа видов сырья получают много конечных продуктов (металлургия, нефтепереработка, текстиль, мясопереработка). Главный риск — «украсть» сырьё под не тот продукт, сделав избыток одного и дефицит другого.
- **A-завод:** много компонентов сходятся в немногие сложные изделия (авиастроение, станкостроение). Главный риск — нехватка одной детали останавливает сборку всего изделия; критична синхронизация.
- **T-завод:** небольшое число полуфабрикатов собирается в огромное количество вариантов в последний момент (бытовая техника, компьютеры). Главный риск — разбор общих компонентов не под те заказы.
- **I-завод:** простая линейная цепочка.

Реальные предприятия часто комбинируют формы, но доминирующая форма подсказывает, где у вас будут хронические проблемы.

Измерение 5. Масштаб и сложность

Наконец, важны количественные параметры: число сотрудников, число одновременно открытых заказов, номенклатура (количество активных позиций), глубина спецификаций (число уровней), число операций в маршруте, число рабочих центров, требования к прослеживаемости (отраслевое регулирование). Их сочетание определяет, справится ли с задачей простая система или нужен мощный продукт.

Диагностика: определите свой профиль

> **Практика.** Ответьте на вопросы и запишите ответы — они понадобятся в главах 20–22.

1. Какая доля выручки приходится на изделия, произведённые по прогнозу, а какая — под конкретный заказ?
2. Есть ли у вас конструкторская работа после получения заказа? Какая доля заказов её требует?
3. Сколько активных позиций номенклатуры (готовых изделий, полуфабрикатов, материалов)?
4. Сколько уровней в типичной спецификации?
5. Сколько операций в типичном маршруте и через сколько участков проходит изделие?
6. Сколько производственных заказов одновременно находится в работе?
7. Какой типичный размер партии: 1, десятки, тысячи?
8. Продукция штучная или «весовая» (рецептуры, партии, сроки годности)?
9. Какая форма потока доминирует: V, A, T или I?
10. Есть ли отраслевые требования к прослеживаемости (пищевая, фармацевтика, авиация, оборонная промышленность)?

Таблица ниже связывает типичные профили с главной управленческой проблемой и классом решения, который её адресует. Подробно мы вернёмся к ней в главе 22.

Профиль	Главная проблема управления	Ключевые функции системы
ETO, проектное	сроки этапов, изменения конструкции, ресурсы инженеров	проектное управление, PLM/PDM, управление изменениями, сквозная себестоимость проекта
MTO, job shop	непредсказуемые сроки, очереди, перегрузка узких мест	маршруты, планирование с конечной мощностью (APS), учёт операций, обещание сроков
ATO	доступность компонентов, скорость сборки	конфигуратор, планирование компонентов (MRP/DDMRP), резервирование
MTS, серийное/поточное	прогноз, запасы, загрузка линий, переналадки	прогнозирование, S&OP, MRP, канбан, OEE
Процессное	рецептуры, партии, выход, качество, прослеживаемость	управление рецептурами и партиями, QMS, электронные партийные записи

Конец ознакомительного фрагмента

Вы прочитали «От автора», введение и первые две главы.
Дальше: физика производственного потока, деньги производства, история методов, карта систем, статистика провалов и успехов, метрики, методика выбора, создание системы с нуля и ИИ.

Полная версия книги: на Литрес.
Статьи по главам книги: modyl-erp.ru/articles/

Хотите разобрать своё производство вместе с автором?
Бесплатный разбор: modyl-erp.ru/consult/

© Легостаев П. А., 2026. Компания «Модуль», modyl-erp.ru