

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева

Ягудаева Н.А., Чутчева Ю.В.

**БЕРЕЖЛИВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРАРНОМ
ПРОИЗВОДСТВЕ**

учебное пособие

Москва – 2026

УДК 631(075.8)
ББК 65.32я73-1
Я31

Рецензенты:

*д.э.н., профессор, Агаркова Л. В. (ФГБОУ ВО «Ставропольский
государственный аграрный университет»),
к.э.н., доцент Леметти Ю. А. (ФГБОУ ВО «Тверская государственная
сельскохозяйственная академия»).*

Ягудаева Н. А.

Я31 Бережливые технологии в аграрном производстве : учебное пособие / Н.А. Ягудаева,
Ю. В. Чутчева. – Москва: ООО «Сам Полиграфист», 2026. — 156 с.

ISBN 978-5-00227-856-5

Учебное пособие посвящено теоретическим и прикладным аспектам применения бережливых технологий в аграрном производстве. Рассматриваются концептуальные основы бережливого производства, методы диагностики потоков создания ценности, инструменты стандартизации и непрерывного совершенствования, особенности их использования в растениеводстве и животноводстве, управление материальными потоками, хранением и агрологистикой, а также техническое обслуживание сельскохозяйственной техники и оборудования. Особое внимание уделено цифровым технологиям, ресурсосбережению, ESG-принципам и экономической оценке проектов бережливой трансформации.

Пособие предназначено для обучающихся магистратуры по направлениям подготовки 38.04.01 «Экономика» и 38.04.02 «Менеджмент». Материалы могут использоваться при проведении лекционных и практических занятий, организации самостоятельной работы и выполнении проектных заданий, а также представлять интерес для преподавателей, аспирантов, руководителей и специалистов организаций агропромышленного комплекса.

УДК 631(075.8)
ББК 65.32я73-1

Оглавление

Предисловие.....	5
Глава 1. Концептуальные основы бережливого производства в аграрном секторе	7
1.1. Эволюция концепции Lean и система принципов бережливого производства	7
1.2. Отраслевая специфика применения Lean в сельском хозяйстве.....	12
1.3. Потери и ресурсосбережение в аграрном производстве.....	16
Глава 2. Диагностика и инструменты бережливого управления аграрными процессами.....	25
2.1. Поток создания ценности и картирование аграрных процессов.....	25
2.2. Организация и стандартизация производственных процессов	29
2.3. Непрерывное совершенствование и повышение надежности процессов	33
Глава 3. Бережливые технологии в растениеводстве	43
3.1. Диагностика и оптимизация технологического потока производства продукции растениеводства.....	43
3.2. Бережливое использование земельных, материальных и технических ресурсов.....	47
3.3. Точное земледелие как инструмент сокращения потерь	50
Глава 4. Бережливые технологии в животноводстве	58
4.1. Потоки создания ценности и потери в животноводческих комплексах	58
4.2. Бережливое управление кормлением, содержанием и воспроизводством стада.....	62
4.3. Автоматизация и контроль эффективности животноводческих процессов	65
Глава 5. Бережливое управление материальными потоками, хранением и агрологистикой.....	73
5.1. Управление материальными потоками и запасами в аграрной организации.....	73
5.2. Сокращение потерь при уборке, транспортировке и хранении сельскохозяйственной продукции.....	78
5.3. Бережливое техническое обслуживание сельскохозяйственной техники и оборудования	82
Глава 6. Цифровые технологии бережливого аграрного производства	90
6.1. Agriculture 4.0 и цифровая модель аграрного производства	90

6.2. Интернет вещей, искусственный интеллект и Big Data в управлении потерями	94
6.3. Системы поддержки управленческих решений и цифровой Lean.....	99
Глава 7. Бережливое производство, esg и устойчивое развитие аграрного бизнеса	107
7.1. Взаимосвязь Lean, ресурсосбережения и ESG-принципов.....	107
7.2. Экологические эффекты бережливого аграрного производства.....	111
7.3. Социальная и управленческая составляющие бережливой трансформации	115
Глава 8. Экономическая оценка и управление проектами бережливой трансформации в АПК.....	123
8.1. Система показателей эффективности бережливого производства	123
8.2. Оценка экономического, экологического и социального эффекта Lean-проектов	127
8.3. Разработка и реализация проекта бережливой трансформации аграрной организации	131
8.4. Российская и зарубежная практика бережливой трансформации аграрного бизнеса.....	135
Глоссарий	143
Список литературы	149

Предисловие

Бережливые технологии получают все более широкое применение в управлении производственными и обеспечивающими процессами организаций различных отраслей экономики. Для аграрного производства их использование имеет особую специфику, связанную с сезонностью, территориальной рассредоточенностью объектов, зависимостью результатов от природно-климатических и биологических факторов, высокой стоимостью техники, значительными объемами материальных ресурсов и необходимостью выполнения технологических операций в ограниченные сроки. В этих условиях повышение эффективности сельскохозяйственной организации зависит не только от технического перевооружения, но и от способности выявлять внутренние потери, управлять потоками ресурсов и информации, предупреждать простои и отклонения, рационально организовывать труд и обеспечивать непрерывное совершенствование процессов.

Концепция бережливого производства предлагает систему принципов и инструментов, позволяющих решать эти задачи на основе анализа потока создания ценности. При этом применение Lean в сельском хозяйстве не предполагает механического переноса решений, сформированных в промышленном производстве. Технологически необходимый запас, биологически обусловленная продолжительность процесса или резерв техники на период проведения сезонных работ не могут автоматически рассматриваться как потери. Поэтому для аграрной организации принципиальное значение приобретает разграничение объективных отраслевых ограничений и тех потерь ресурсов, времени и продукции, которые вызваны недостатками организации и управления.

Учебное пособие «Бережливые технологии в аграрном производстве» направлено на формирование системного представления о возможностях применения Lean-подхода в организациях агропромышленного комплекса. В нем рассматриваются концептуальные основы бережливого производства, методы диагностики потоков создания ценности, инструменты стандартизации и непрерывного совершенствования, особенности их использования в растениеводстве и животноводстве, управление запасами, хранением и агрологистикой, а также техническое обслуживание сельскохозяйственной техники и оборудования.

Отдельное внимание уделено современным направлениям развития бережливого управления. Цифровые технологии рассматриваются в пособии не как самостоятельная цель модернизации, а как средство повышения прозрачности и управляемости производственных процессов. Системы точного земледелия, датчики и телеметрия, Интернет вещей, искусственный интеллект, цифровые двойники и системы поддержки управленческих решений

анализируются с позиции их способности своевременно выявлять отклонения, сокращать потери ресурсов и обеспечивать принятие обоснованных решений. Взаимосвязь бережливого производства с ESG-принципами раскрывается через экономические, экологические и социальные результаты ресурсосбережения, повышения безопасности труда, вовлечения работников и совершенствования системы управления.

Практическая направленность пособия обеспечивается использованием расчетных примеров, кейсов и заданий для самостоятельной работы. Рассматриваемые ситуации позволяют оценивать потери рабочего и машинного времени, топлива, кормов, воды, энергии, материалов и сельскохозяйственной продукции, анализировать загрузку оборудования и движение материальных потоков, рассчитывать показатели ОЕЕ, производительности и ресурсоемкости. При экономическом обосновании проектов используются показатели прямого эффекта, возврата инвестиций, срока окупаемости и чистого дисконтированного дохода. Такая организация материала позволяет связать применение конкретного Lean-инструмента с изменением физического состояния процесса и последующим экономическим результатом.

Целью учебного пособия является формирование теоретических знаний и практических навыков диагностики, проектирования и экономического обоснования бережливых производственных систем с учетом отраслевых особенностей аграрного производства. Полученные знания позволяют выявлять и классифицировать потери, картировать потоки создания ценности, выбирать инструменты совершенствования процессов, оценивать ресурсные резервы, разрабатывать проекты бережливой трансформации и определять их экономические, экологические и социальные результаты.

Учебное пособие предназначено прежде всего для обучающихся магистратуры по направлениям подготовки **38.04.01 «Экономика» и 38.04.02 «Менеджмент»**. Материалы пособия могут использоваться при проведении лекционных и практических занятий, организации самостоятельной работы и выполнении проектных заданий, а также представлять интерес для преподавателей, аспирантов, руководителей и специалистов организаций агропромышленного комплекса, занимающихся вопросами производственной эффективности, ресурсосбережения и совершенствования системы управления.

ГЛАВА 1. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ

1.1. Эволюция концепции Lean и система принципов бережливого производства

Бережливое производство в аграрном секторе следует рассматривать прежде всего как подход к повышению эффективности использования ресурсов и организации производственных процессов. Для сельскохозяйственного предприятия принципиальное значение имеет не только объем имеющихся земельных, материальных, технических и трудовых ресурсов, но и то, насколько согласованно они используются в едином технологическом потоке. Простой техники, ожидание транспорта, повторные проходы по полю, несвоевременная подача материалов, избыточные перемещения, накопление продукции перед последующей операцией и повторное выполнение работ увеличивают затраты, не создавая дополнительной ценности. Поэтому объектом бережливого управления становится не отдельная операция, а **поток создания ценности**, в рамках которого оценивается движение продукции, ресурсов и информации от возникновения потребности до получения требуемого результата.

Современная концепция бережливого производства сформировалась в результате длительного развития методов организации производства. Одним из важных этапов стало распространение поточного производства, связанного с работами Г. Форда, который объединил стандартизацию операций, взаимозаменяемость деталей и последовательное движение продукта по производственному процессу. В дальнейшем эти идеи получили существенное развитие в производственной системе Toyota (Toyota Production System, TPS). Специалисты Toyota сместили акцент с максимальной загрузки отдельных машин и операций на согласованность всего потока, сокращение времени прохождения процесса, предупреждение дефектов и производство в соответствии с фактической потребностью. Именно TPS стала одним из основных непосредственных источников современной концепции бережливого производства.

Производственная система Toyota основывается на двух взаимосвязанных принципах – **дзидока (jidoka)** и системе **«точно вовремя» (Just-in-Time, JIT)**. Дзидока предполагает обнаружение отклонения непосредственно в процессе и остановку работы для предупреждения выпуска дефектного результата и повторения проблемы. Принцип «точно вовремя» ориентирован на синхронизацию связанных процессов: необходимый результат должен создаваться в требуемом количестве и в тот момент, когда он необходим последующему звену. В официальном описании Toyota именно дзидока и «точно вовремя» рассматриваются как два базовых столпа TPS.

Для аграрного производства значение этих принципов состоит не в механическом переносе организации автомобильного конвейера в сельское хозяйство, а в изменении логики управления. Высокая загрузка трактора, комбайна, зерносушилки или линии кормления сама по себе еще не свидетельствует об эффективности. Если ускорение одной операции приводит к ожиданию на следующей стадии, техника совершает лишние проходы, а продукция накапливается перед ограниченным по мощности участком, локальный рост производительности способен увеличить совокупные потери. Поэтому результат следует оценивать по всему потоку, сопоставляя производительность отдельных звеньев, продолжительность ожиданий, объем незавершенного потока, качество продукции и расход ресурсов.

Термин **«бережливое производство» (lean production)** получил распространение в конце 1980-х – начале 1990-х гг. при исследовании различий между массовой и новой производственными системами автомобильной промышленности. Lean Enterprise Institute связывает появление самого термина с Дж. Крафчиком, а его широкое распространение – с исследованиями Международной программы по автомобилестроению Массачусетского технологического института и книгой Дж. Вумека, Д. Джонса и Д. Руза *The Machine That Changed the World*. В дальнейшем Дж. Вумек и Д. Джонс систематизировали подход в концепции **бережливого мышления (Lean Thinking)** и сформулировали пять взаимосвязанных принципов: определение ценности с позиции потребителя; выявление потока создания ценности; обеспечение непрерывного движения создающих ценность операций; организация вытягивания; постоянное стремление к совершенствованию.

Последовательность этих принципов имеет методическое значение. Бережливое производство начинается не с внедрения отдельных инструментов, а с определения ценности и анализа фактического потока. Только после выявления потерь и их причин выбираются соответствующие способы совершенствования процесса. Поэтому использование организации рабочего пространства **5S**, **канбан**, визуального управления или других инструментов без предварительного анализа потока способно улучшить отдельное рабочее место, но еще не означает формирования бережливой производственной системы.

В России основные положения и терминология бережливого производства закреплены в национальных стандартах. **ГОСТ Р 56020-2020 «Бережливое производство. Основные положения и словарь»** распространяется на организации независимо от их размера, формы собственности и вида деятельности и связывает повышение эффективности с системным применением философии, принципов и инструментов бережливого производства. **ГОСТ Р 57524-2017 «Бережливое производство. Поток создания ценности»** раскрывает подходы к организации, управлению и улучшению потока создания ценности, а **ГОСТ Р 56407-2023 «Бережливое производство. Основные**

инструменты и методы их применения» систематизирует такие инструменты, как стандартизация работы, 5S, картирование потока создания ценности, визуализация, быстрая переналадка, защита от непреднамеренных ошибок, канбан, всеобщее обслуживание оборудования и кайдзен.

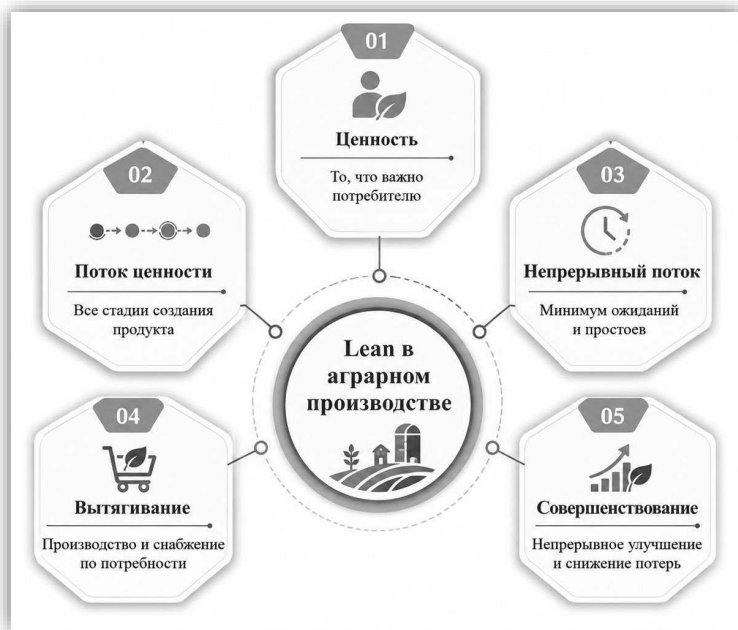


Рисунок 1.1 – Пять принципов бережливого производства в АПК

Первый принцип – ценность – задает экономическую точку отсчета. В Lean ценность нельзя определять исключительно через себестоимость или внутренние нормативы. Она формируется в конкретном продукте или услуге и оценивается с позиции внешнего либо внутреннего потребителя. Для товарного сельскохозяйственного предприятия внешним потребителем может быть переработчик, торговая сеть, кооператив, предприятие общественного питания или конечный покупатель. Внутренним потребителем выступает следующий технологический процесс. Например, для уборочного звена транспортная служба является поставщиком необходимой пропускной способности, а зерноочистительный комплекс – следующим звеном, которое предъявляет требования к ритму поступления и качеству вороха.

Такое понимание позволяет избежать типичной ошибки: считать бережливым любое сокращение расходов. Снижение нормы высева ниже

агрономически обоснованного уровня, сокращение профилактического обслуживания техники или уменьшение численности работников в период пиковых полевых работ действительно может снизить текущие затраты, но одновременно повысить риск потери урожая, простоев и нарушения качества. Экономия становится бережливой только тогда, когда устраняет операции и потребление ресурсов, не создающие ценности, не разрушая способность процесса удовлетворять требования потребителя.

Второй принцип – поток создания ценности – переносит внимание с организационных подразделений на сквозной результат. Для сельского хозяйства этот принцип особенно значим, поскольку один производственный цикл проходит через агрономическую, инженерную, складскую, транспортную, экономическую и управленческую функции. Если каждая служба оптимизирует только собственный показатель, возникают межфункциональные потери. Инженерная служба может сокращать число резервных единиц техники, транспортная – минимизировать холостой пробег, растениеводческая – стремиться максимально использовать короткое агротехническое окно. По отдельности цели рациональны, но без общего потока они могут конфликтовать.

Поток создания ценности включает не только физическое движение сырья, материалов и продукции, но и информационное обеспечение. Наряд на работу, маршрутный лист, данные о влажности зерна, информация о состоянии техники, прогноз погоды, результаты лабораторного контроля, потребность склада и план отгрузки способны либо ускорить поток, либо создать ожидание. Поэтому цифровизация сама по себе не является Lean-результатом: электронная передача избыточной, несвоевременной или противоречивой информации лишь ускоряет распространение управленческих ошибок.

Третий принцип – непрерывность потока – в сельском хозяйстве не означает буквальной непрерывной работы всех операций в течение года. Биологические и сезонные циклы задают объективные остановки. Речь идет о минимизации тех разрывов, которые не обусловлены технологией. Например, ожидание комбайна из-за отсутствия транспорта, повторный проезд опрыскивателя из-за ошибки навигации, простой доильного оборудования из-за несвоевременной замены расходного элемента или ожидание согласования закупки – устранимые разрывы. Период вегетации культуры, физиологический цикл животного или обязательное время выдержки продукции – не потери сами по себе.

Четвертый принцип – вытягивание – требует осторожной адаптации к аграрной сфере. В промышленном производстве вытягивание связывается с запуском операции по сигналу потребности следующего звена. В сельском хозяйстве часть объемов и сроков жестко задается природными и биологическими ограничениями: невозможно «вытянуть» созревание культуры на несколько недель позже без потери качества. Поэтому предметом вытягивания

становятся прежде всего внутренние обеспечивающие потоки: подвоз материалов, подготовка техники, снабжение кормами, перемещение тары, лабораторный контроль, ремонтные работы, документооборот. Принцип применяется там, где объем и момент выполнения действительно могут зависеть от потребности следующего процесса.

Пятый принцип – совершенствование – раскрывает отличие Lean от разовой кампании по снижению затрат. После устранения видимой потери система должна перейти к новому стандарту, а затем снова анализироваться. Достигнутый результат становится исходным уровнем следующего цикла. Практически это означает, что проект по сокращению расхода топлива нельзя считать завершенным только после установки системы мониторинга. Необходимо проверить изменение маршрутов, холостого пробега, работы на повышенных оборотах, простоев с включенным двигателем, закрепить новые стандарты и оценить, не возникли ли потери в другом участке процесса.

Категория	Что представляет собой	Основной объект	Результат применения
01  Lean	Система принципов и практик управления ценностью и потерями	Сквозной поток создания ценности	Сокращение потерь, времени прохождения потока и потребления ресурсов при сохранении или росте ценности
02  Kaizen	Подход к постоянным небольшим улучшениям с участием работников	Конкретная операция, рабочее место, стандарт или локальный процесс	Последовательные изменения, закрепляемые в стандарте работы
03  Процессное управление	Организация управления через взаимосвязанные процессы, их входы, выходы, владельцы и показатели	Процесс как повторяемая совокупность действий	Управляемость, ответственность, измеримость и согласование процессов

Рисунок 1.2 – Разграничение Lean, Kaizen и процессного управления

Lean и Kaizen часто используются как синонимы, однако между ними есть содержательное различие. Lean задает логику системы: что считать ценностью, как видеть поток, каким образом выявлять и сокращать потери. Kaizen описывает механизм постоянного совершенствования, основанный на вовлечении работников и регулярных небольших изменениях. Крупный проект модернизации зерносушильного комплекса может соответствовать Lean, если он

устраняет ограничение потока; изменение порядка размещения инструмента в мастерской – пример Kaizen. В устойчивой системе эти уровни дополняют друг друга.

Процессный подход формирует организационный каркас для Lean. Без четко определенного процесса невозможно установить его потребителя, вход, выход, владельца и измеримые показатели. Но процессное управление само по себе не гарантирует бережливости: организация может детально регламентировать избыточный документооборот или закрепить стандарт процесса с многочисленными ожиданиями и согласованиями. Lean добавляет к процессной логике критерий ценности и требование систематического устранения потерь.

В аграрном менеджменте объединение этих подходов позволяет перейти от управления «по подразделениям» к управлению результатом. Например, задача своевременного проведения сева не принадлежит только агрономической службе. Она включает готовность техники, наличие семян и топлива, подготовку персонала, логистику к полю, передачу данных и контроль качества. Владелец процесса должен видеть все звенья, а Kaizen-механизмы обеспечивают постоянное улучшение отдельных операций.

Отсюда следует принципиальный вывод: внедрение Lean начинается не с выбора инструмента, а с постановки управленческой задачи. Сначала определяется ценность и проблемный поток, затем измеряется фактическое состояние, после чего выбираются инструменты, соответствующие причине потери. Использование 5S, визуализации или цифровых датчиков без этой последовательности создает риск «инструментального Lean», когда предприятие демонстрирует отдельные практики, но не получает системного экономического результата.

1.2. Отраслевая специфика применения Lean в сельском хозяйстве

Сельское хозяйство отличается от типового дискретного производства тем, что производственный процесс частично определяется факторами, которые предприятие не может полностью стандартизировать. Температура, осадки, состояние почвы, биологическое развитие растений и животных, эпизоотические риски, срок созревания и физиологические ограничения влияют на длительность, качество и последовательность операций. Поэтому адаптация Lean должна отделять управляемую вариативность от вариативности, вызванной природой технологического процесса.

Главная методическая ошибка состоит в попытке трактовать любое отклонение от равномерного промышленного такта как потерю. В аграрном секторе часть неравномерности объективна. Сезонная концентрация полевых работ, например, обусловлена агротехническими сроками. Задача Lean здесь – не сделать годовую загрузку комбайна одинаковой по месяцам, а сократить потери

внутри короткого периода его интенсивного использования: ожидание транспорта, простоев из-за неисправностей, несогласованность маршрутов, избыточные переналадки и повторные проходы.

Сезонность одновременно создает экономическую проблему использования капиталоемких ресурсов. Техника, складские площади, сушильное и перерабатывающее оборудование имеют высокие постоянные затраты, но загружаются неравномерно. В результате экономическая эффективность зависит не от максимальной производительности отдельной машины, а от соответствия мощности узкому месту производственного потока и стоимости простоя в критический период. Один час простоя уборочного комплекса в благоприятное окно может иметь существенно большую экономическую цену, чем час простоя той же техники вне сезона.

Территориальная рассредоточенность увеличивает значение транспортных и информационных потерь. Поля, фермы, склады, мастерские, пункты заправки и административные подразделения могут находиться на значительном расстоянии друг от друга. Избыточное перемещение техники и персонала здесь становится самостоятельной статьей затрат: растут расход топлива, моточасы, амортизация, рабочее время и риск несвоевременного выполнения операции. В Lean-анализе сельскохозяйственного предприятия поэтому необходимо картировать не только последовательность операций, но и их пространственное расположение.

Зависимость от природно-климатических факторов делает критически важным управление готовностью. Если промышленное предприятие во многих случаях может перенести операцию на следующую смену, сельскохозяйственное предприятие часто работает в ограниченном погодном и агротехническом окне. Это повышает ценность профилактического обслуживания, быстрой диагностики, наличия критических запасных частей и стандартизированной подготовки техники. Запас как таковой не всегда является потерей: резерв подшипника стоимостью несколько тысяч рублей может быть экономически оправдан, если отсутствие детали создает риск многократно более дорогого простоя в уборочный период.

Биологический характер производства изменяет подход к качеству. Дефект в промышленной операции иногда можно исправить перед передачей следующему процессу. В сельском хозяйстве последствия ошибки могут проявиться через недели или месяцы и быть необратимыми: нарушение глубины посева, несоблюдение режима кормления, стресс животных, повреждение продукции при уборке. Поэтому принцип *jidoka* адаптируется в сторону раннего обнаружения отклонений и предупреждения их перехода в биологический результат.

Незавершенное производство в аграрной сфере также имеет особую природу. Посевы на поле, молодняк на выращивании, продукция в процессе

ферментации или хранения нельзя интерпретировать как избыточный запас только потому, что они еще не реализованы. Такой объем является технологически необходимым незавершенным производством. Потерей становится его избыточная продолжительность относительно технологически обоснованного цикла, нарушение условий содержания, дополнительное замораживание оборотного капитала или накопление продукции перед ограниченным последующим звеном.

Скоропортящийся характер значительной части сельскохозяйственной продукции усиливает стоимость ожидания. FAO рассматривает продовольственные потери как снижение количества или качества пищевой продукции по цепочке поставок до розничного звена; среди причин на уровне хозяйства и после уборки выделяются время уборки, погодные условия, обращение с продукцией, хранение и транспортировка. Для Lean это означает, что время прохождения потока становится не только экономическим, но и качественным показателем: задержка способна непосредственно уменьшить реализуемый объем и цену продукции.

Наконец, аграрное производство характеризуется неравномерной потребностью в труде. Пиковые периоды требуют высокой концентрации персонала и продолжительной работы, тогда как в другие месяцы загрузка части работников снижается. Если компенсировать сезонность только сверхурочной работой, возникает *mitig* – перегрузка людей, повышающая вероятность ошибок и травматизма. Бережливая организация труда предполагает предварительную балансировку операций, кросс-функциональное обучение, стандарты сменности и планирование обеспечивающих процессов.

Таблица 1.3 – Особенности сельского хозяйства и их последствия для Lean-управления

Отраслевая особенность	Риск ошибочного применения Lean	Корректная управленческая интерпретация
Сезонность	Считать неравномерную загрузку техники самостоятельной потерей	Оптимизировать готовность, пропускную способность и простои в критическом агротехническом окне
Природно-климатическая зависимость	Стремиться к жесткой стандартизации сроков независимо от условий	Стандартизировать правила принятия решений, подготовку и реакцию на отклонения, а не погоду
Биологический цикл	Требовать сокращения любого времени процесса	Разделять технологически необходимое время и устранимые ожидания
Территориальная рассредоточенность	Оценивать только производительность основной операции	Включать в поток маршруты, подвоз, заправку, перемещение персонала и информации

Скоропортящаяся продукция	Рассматривать хранение как нейтральную операцию	Учитывать потерю массы, качества, цены и срока годности при задержках
Неравномерность труда	Считать сверхурочную работу нормальным способом покрытия пиков	Балансировать операции, готовить резерв компетенций и сокращать перегрузку

Из перечисленных особенностей следует, что в сельском хозяйстве особенно важна категория «экономически оправданного резерва». Классический Lean критикует запасы, скрывающие проблемы процесса. Однако аграрная организация работает с риском погодных ограничений и удаленности поставщиков. Поэтому задача состоит не в механическом стремлении к нулевому запасу, а в определении минимально достаточного уровня, который компенсирует стоимость риска. Такой подход применим к топливу, запасным частям, кормам, семенам и материалам.

Для оценки резерва можно использовать простую логику ожидаемых потерь. Если отсутствие запасной части с вероятностью 0,25 приводит к простою стоимостью 200 тыс. руб., ожидаемый ущерб составляет 50 тыс. руб. Если хранение резервной детали обходится предприятию в 8 тыс. руб. за сезон, наличие запаса экономически рационально. Lean в данном случае не отменяет запас, а требует доказать его необходимость и исключить номенклатуру, не связанную с реальными рисками потока.

Аналогично оценивается производственная мощность. Избыточная мощность может быть потерей капитала, но резерв пропускной способности на сушке или транспортировке в период уборки может сокращать более дорогие потери урожая. Поэтому «бережливость» в аграрной экономике следует связывать не с минимизацией каждого вида ресурса, а с минимизацией совокупных потерь системы при заданном уровне качества, надежности и устойчивости.

Эта логика сближает Lean с современными подходами к устойчивому развитию. Сокращение потерь продукции означает, что больший объем конечного результата формируется при том же или меньшем использовании земли, воды, топлива, удобрений и энергии. FAO прямо связывает снижение продовольственных потерь с более эффективным использованием природных ресурсов и уменьшением экологического воздействия на единицу потребленной продукции. Следовательно, ресурсная эффективность является одновременно экономическим и экологическим результатом.

Однако экологический эффект нельзя автоматически приравнивать к экономии затрат. Например, более интенсивное использование техники может снизить потребность в количестве машин, но увеличить нагрузку на персонал и риск срыва операции. С другой стороны, вложения в систему точного внесения

удобрений увеличивают капитальные затраты, но могут сократить расход материальных ресурсов и риск локальной избыточной нагрузки на почву. Для принятия решения требуется многокритериальная оценка, которая будет рассмотрена в последующих главах пособия.

Для магистерского уровня принципиально важно видеть границу между технологическим и управленческим решением. Lean не заменяет агрономию, зоотехнику, ветеринарию или инженерную экспертизу. Он задает способ организовать взаимодействие этих компетенций вокруг потока создания ценности. Если агротехнологическая норма определяет допустимое окно операции, Lean отвечает на вопрос, как обеспечить готовность ресурсов и минимизировать потери внутри этого окна.

1.3. Потери и ресурсосбережение в аграрном производстве

Центральная категория бережливого производства – потери. В Toyota Production System используются три взаимосвязанных понятия: muda – действия и потребление ресурсов, не создающие ценности; muga – неравномерность и нестабильность потока; muri – перегрузка людей или оборудования. В практической работе ошибка возникает, когда предприятие ищет только muda и не анализирует причины. Часто видимые потери являются следствием неравномерности или перегрузки. Например, простой грузовых автомобилей у комбайна – muda, но его причиной может быть muga в подаче транспорта либо muri на зерноочистительной линии, работающей выше устойчивой мощности.

В аграрной организации потери целесообразно выявлять на трех уровнях. Первый – физический: лишние литры топлива, килограммы кормов, семян и удобрений, киловатт-часы энергии, кубометры воды, тонно-километры транспортной работы, гектары недоиспользованной площади, часы рабочего времени, потерянная масса продукции. Второй – экономический: затраты на приобретение, хранение, перемещение и утилизацию этих ресурсов, недополученная выручка, штрафы, ремонт и простой. Третий – экологический и социальный: избыточное потребление невозобновляемых ресурсов, эмиссии, отходы, нагрузка на почву и воду, сверхурочная работа и риски безопасности.

Такое трехуровневое представление предупреждает упрощение Lean до программы снижения себестоимости. Например, утечка воды в системе поения животных имеет прямой стоимостной эффект, но также увеличивает расход воды, нагрузку на системы удаления стоков и объем электроэнергии на подачу. Повторный проход техники по полю означает не только лишнее топливо, но и дополнительное уплотнение почвы и рабочее время. Полная оценка должна проследивать цепочку последствий.

Классическая типология Lean выделяет перепроизводство, ожидание, лишние перемещения или транспортировку, излишнюю обработку, запасы, лишние движения работников, дефекты и неиспользованный потенциал

персонала. В разных школах формулировки и число категорий могут отличаться, но их смысл заключается не в классификации ради самой классификации, а в создании общего языка для наблюдений за процессом.

Таблица 1.4 – Классические виды потерь и их аграрная интерпретация

Вид потери	Проявление в аграрном производстве	Измеримый показатель
Перепроизводство	Производство объема, который не обеспечен хранением, контрактом или пропускной способностью следующего звена; избыточная подготовка кормосмеси	тонны избыточного объема; стоимость хранения; списание
Ожидание	Простой комбайна из-за транспорта; ожидание заправки; ожидание лабораторного результата; простой работников из-за отсутствия задания	машино-часы; человеко-часы; руб./час простоя
Лишняя транспортировка	Неоптимальные маршруты к полям; многократное перемещение зерна между складами; возврат порожнего транспорта	км; тонно-км; литры топлива
Излишняя обработка	Повторная сортировка, очистка, пересушка; повторные проходы техники; дублирование документов	число повторных операций; кВт·ч; л топлива; человеко-часы
Избыточные запасы	Сверхнормативные остатки семян, удобрений, кормов, запасных частей и готовой продукции	дни запаса; оборотный капитал; потери хранения
Лишние движения	Поиск инструмента, проб, документов; нерациональное размещение инвентаря и материалов	метры/смену; минуты/операцию
Дефекты и потери качества	Повреждение зерна; загрязнение молока; неправильная дозировка; ошибки калибровки; порча при хранении	% брака/потерь; снижение цены; затраты на переделку
Неиспользованный потенциал работников	Предложения операторов и механизаторов не фиксируются; решения принимаются без данных с рабочего места	число предложений; доля реализованных улучшений; повторяемость проблем

Перепроизводство в сельском хозяйстве требует особенно аккуратной трактовки. Сам по себе высокий урожай не является потерей. Потеря возникает, когда дополнительный объем не может быть сохранен, переработан или реализован без существенного снижения ценности. Например, несогласованное увеличение поступления продукции на склад при ограниченной мощности охлаждения может приводить к порче. В животноводстве избыточное приготовление скоропортящейся кормосмеси сверх фактической потребности группы животных также создает прямые потери.

Ожидание часто является наиболее заметной формой потерь в сезонных процессах. Его стоимость следует считать не только как заработную плату оператора или расход топлива на холостом ходу. Если простой происходит в ограниченном агротехническом окне, экономический эффект может включать недополученный урожай или ухудшение качества вследствие запаздывания. Следовательно, стоимость часа простоя зависит от контекста процесса.

Транспортные потери для сельского хозяйства особенно значимы из-за территориальной рассредоточенности. Их диагностика требует анализа географии полей, расположения складов и пунктов заправки, структуры маршрутов и загрузки транспорта. Простое сокращение километража не всегда оптимально: более длинный маршрут по дороге с устойчивым покрытием может дать меньший расход топлива и время цикла, чем короткий маршрут по сложному участку. Поэтому показатель должен связывать расстояние со временем, расходом топлива и пропускной способностью.

Излишняя обработка проявляется там, где операция выполняется повторно из-за ошибки, плохой координации или отсутствия стандарта. Повторная сушка зерна после неравномерного режима, дополнительная очистка из-за неправильной настройки оборудования, двойной ввод одного и того же показателя в разные информационные системы – разные по природе, но экономически сходные примеры: предприятие расходует ресурс, не увеличивая ценность результата.

Запасы – одна из наиболее дискуссионных категорий. В аграрной практике необходимо разделять страховой запас, технологический запас и сверхнормативное накопление. Первые два могут быть обоснованы риском и технологией, третье маскирует проблемы закупки, планирования или сбыта. Критерий бережливости – не нулевой склад, а прозрачное обоснование каждой позиции и уровня запаса.

Потери движения относятся прежде всего к организации рабочего места. Их масштаб на одной операции кажется небольшим, но при многократном повторении они формируют значительные затраты времени и утомляемость. Если оператор доильного зала совершает лишние перемещения за расходными материалами десятки раз за смену, рациональное размещение может одновременно сократить время цикла и физическую нагрузку.

Дефекты в сельском хозяйстве имеют расширенную форму: это не только продукция, не соответствующая стандарту, но и отклонения, которые снижают будущий результат. Ошибка дозирования удобрения, нарушение глубины обработки, несоблюдение температурного режима хранения или позднее выявление заболевания животных могут приводить к отложенному ущербу. Поэтому раннее обнаружение отклонения экономически предпочтительнее контроля конечного результата.

Неиспользованный потенциал персонала – особая потеря, потому что работники непосредственно наблюдают процесс и часто первыми видят повторяющиеся проблемы. Если механизм обратной связи отсутствует, организация теряет не только идеи улучшений, но и данные о реальном состоянии процесса. Kaizen-система превращает локальное знание работников в управляемый поток улучшений.

Таблица 1.5 – Три источника системной неэффективности: muda, mura, muri

Категория	Содержание	Аграрный пример	Управленческая реакция
Muda	Прямые действия/затраты без создания ценности	Повторный проход трактора из-за ошибочного задания маршрута	Устранить причину повторной операции, стандартизировать задание и контроль
Mura	Неравномерность объема, ритма или нагрузки	Пиковое поступление зерна на сушилку, сменяющееся простоями	Синхронизировать уборку, транспорт и приемку; управлять очередью и буфером
Muri	Перегрузка человека или оборудования сверх устойчивой способности	Работа сушилки на предельном режиме с ростом аварийности; систематические сверхурочные работников	Сбалансировать мощность, перераспределить операции, создать резерв или изменить график

Связь muda, mura и muri удобно рассматривать причинно. Неравномерный поток создает периоды перегрузки; перегрузка увеличивает вероятность отказов и ошибок; ошибки и отказы порождают ожидание, переделку и дефекты. Поэтому борьба только с видимыми потерями дает нестабильный результат. Если предприятие уменьшает число транспортных машин без балансировки ритма уборки, первоначально снижаются затраты, но затем растет ожидание комбайнов. Локальная экономия превращается в системную потерю.

Ресурсосбережение в Lean следует измерять через удельные показатели, связывающие затраченный ресурс с ценным результатом. Абсолютное снижение расхода топлива может быть следствием уменьшения площади обработки, а не улучшения процесса. Поэтому корректнее анализировать литры на гектар или на

тонну продукции, киловатт-часы на тонну хранения, килограммы корма на единицу продукции, кубометры воды на голову или на единицу произведенной продукции, человеко-часы на технологическую операцию.

Удельный показатель не отменяет абсолютный. Если предприятие повысило эффективность на гектар, но резко расширило площадь, общий экологический след может вырасти. Для ESG-оценки поэтому необходимы оба уровня: интенсивность потребления ресурса и совокупное потребление. Аналогично оцениваются отходы и выбросы.

На базовом уровне экономический эффект ресурсосберегающего мероприятия определяется разницей затрат до и после улучшения за вычетом дополнительных расходов на внедрение. Если ресурс измеряется в натуральных единицах, сначала рассчитывается экономия ресурса, затем она переводится в денежное выражение по релевантной цене. Для многофакторного проекта отдельно учитываются изменения труда, энергии, ремонта, потерь продукции и капитальных затрат.

Базовая формула прямого годового эффекта может быть представлена как:

$$\Xi = \sum_i [(q_{0i} - q_{1i}) \times p_i] + \Delta B - \Delta Z_{\text{доп}}, \quad (1.1)$$

где:

Ξ – прямой годовой экономический эффект;

q_{0i} – расход i -го ресурса до улучшения;

q_{1i} – расход i -го ресурса после улучшения;

p_i – цена единицы i -го ресурса;

ΔB – изменение выручки за счет роста выхода или качества продукции;

$\Delta Z_{\text{доп}}$ – дополнительные текущие затраты, связанные с новым процессом;

i – вид ресурса;

Экологический эффект рассчитывается в натуральных показателях: сокращение расхода воды, энергии, топлива, удобрений, площади избыточной обработки, объема отходов и потерь продукции. Денежная оценка экологического эффекта возможна, но не всегда обязательна. Для управления важно не смешивать прямую экономию денежных средств и экологический результат: снижение расхода воды на 1000 м³ является экологическим эффектом даже в ситуации, когда тариф на воду низок и денежная экономия невелика.

Социальный эффект также должен быть измерим. Для Lean-проекта он может выражаться в сокращении сверхурочных часов, числа опасных перемещений, физической нагрузки, времени поиска материалов, производственного травматизма, повторных аварийных ремонтов. Бережливое производство не должно строиться на интенсификации труда за счет человека; напротив, устранение *mugi* является одним из условий устойчивого результата.

Показатели ресурсосбережения целесообразно включать в визуальную систему управления. Руководитель участка должен видеть не только план выпуска, но и причины отклонений: расход топлива на гектар, потери кормов, простои, долю повторных операций, потери массы при хранении. Если показатель используется только в ежемесячном отчете, он слабо влияет на оперативное поведение. В Lean данные должны приближаться к месту возникновения проблемы.

Выводы по главе

Бережливое производство представляет собой систему управления потоком создания ценности, а не совокупность разрозненных инструментов экономии. Производственная система Toyota сформировала базовую логику jidoka и Just-in-Time, а концепция Lean Thinking закрепила пять принципов: ценность, поток создания ценности, непрерывность, вытягивание и совершенствование.

В сельском хозяйстве эти принципы требуют отраслевой адаптации. Сезонность, биологические циклы, природно-климатическая зависимость и территориальная рассредоточенность не являются потерями сами по себе. Предмет Lean-управления – устранимые ожидания, перегрузки, повторные операции, избыточные перемещения и нерациональное потребление ресурсов внутри технологически необходимых ограничений.

Категории muda, mura и muri позволяют связать видимые потери с их системными причинами. Для устойчивого эффекта недостаточно убрать отдельную операцию: необходимо устранить неравномерность и перегрузку, которые воспроизводят потери.

Ресурсосбережение должно оцениваться одновременно в натуральном, экономическом и ESG-измерениях. Такая логика создает основу для последующего применения картирования потока, 5S, Kaizen, TPM, SMED, цифрового мониторинга и методов экономической оценки Lean-проектов.

Практические кейсы

Кейс 1. Сокращение потерь топлива и времени при посевной кампании

Условие. Сельскохозяйственная организация проводит посев зерновых на площади 4 800 га. В предыдущем сезоне расход дизельного топлива на комплекс операций, связанных с посевом, составил 18,4 л/га. По данным мониторинга 7 % пробега приходилось на повторные и холостые перемещения, связанные с несогласованностью маршрутов, ожиданием загрузки и повторным заездом на отдельные участки. После пересмотра маршрутов, закрепления полей за агрегатами, стандартизации заправки и ежедневного визуального контроля расход снизился до 17,1 л/га. Цена дизельного топлива для учебного расчета

принимается равной 68 руб./л. Дополнительные затраты на организационные изменения и настройку мониторинга составили 120 тыс. руб. За сезон количество сверхурочных часов механизаторов сократилось со 620 до 470 чел.-ч. Для экологического учебного расчета принимается условный коэффициент 2,68 кг CO₂-экв. на 1 л сэкономленного дизельного топлива.

Рассчитайте экономию дизельного топлива и прямой экономический эффект проекта с учетом дополнительных затрат на внедрение. Определите сокращение сверхурочных часов и экологический эффект в кг CO₂-экв. Сделайте вывод о результативности организационных изменений.

Кейс 2. Снижение потерь кормов на молочном комплексе

Условие. На молочном комплексе содержится 800 коров. До улучшения среднесуточная выдача кормосмеси составляла 42 кг на голову, а фактические потери при приготовлении, транспортировке и раздаче оценивались в 4,5 % от выдаваемой массы. После стандартизации загрузки кормосмесителя, корректировки маршрута раздачи, контроля остатков и организации рабочих мест потери снизились до 2,8 %. Средняя расчетная стоимость кормосмеси – 6,4 руб./кг. Дополнительные текущие расходы на контроль и маркировку составили 55 тыс. руб. в год.

Рассчитайте годовой объем кормосмеси, величину потерь до и после улучшения, физическую экономию кормов и чистый годовой экономический эффект с учетом дополнительных расходов. Сделайте вывод об эффективности предложенных Lean-мер.

Задания для самостоятельной работы

Общие методические указания. Для каждого задания необходимо: 1) определить потребителя и ценность результата; 2) описать границы анализируемого процесса; 3) классифицировать выявленные проблемы как *muda*, *muja* и/или *muji*; 4) рассчитать натуральный ресурсный эффект; 5) при наличии исходных цен определить прямой экономический эффект; 6) выделить экологический или социальный результат; 7) сформулировать не менее двух управленческих мер, устраняющих причину потери, а не только ее проявление. Расчеты рекомендуется выполнять в Excel с отдельным листом исходных данных и листом итоговых показателей.

Задание 1. Потери топлива при обработке почвы

Хозяйство обрабатывает 6 200 га. Средний расход дизельного топлива составляет 23,5 л/га. Анализ GPS-треков показал, что 5,8 % общего пробега связано с перекрытиями и лишними разворотами. После изменения схемы движения предполагается снизить долю таких потерь до 2,3 %. Цена топлива – 70 руб./л. Затраты на настройку системы и обучение – 180 тыс. руб. Рассчитайте

ориентировочную экономию топлива и чистый эффект первого года. Определите, какие данные необходимо дополнительно собрать, чтобы подтвердить причинную связь между изменением маршрута и фактическим расходом.

Задание 2. Очередь транспорта в уборочный период

Четыре комбайна в среднем простаивают по 46 минут в смену из-за ожидания транспорта. Уборка продолжается 28 смен. Стоимость машино-часа простоя одного комбайна для учебного расчета – 7 500 руб. После изменения диспетчеризации предполагается сократить ожидание до 18 минут. Дополнительная стоимость диспетчеризации – 95 тыс. руб. Рассчитайте прямой экономический эффект. Объясните, почему возможный эффект от сокращения потерь урожая не следует включать в расчет без отдельного обоснования.

Задание 3. Потери воды на животноводческом объекте

Система учета показывает расход воды 96 м³/сут. После обследования выявлены утечки и избыточная промывка, суммарно оцениваемые в 11 % расхода. Плановое мероприятие должно сократить потери до 3 %. Стоимость 1 м³ воды и водоотведения – 52 руб. Инвестиции в ремонт и арматуру – 210 тыс. руб. Определите годовую экономию воды, денежный эффект и простой срок окупаемости. Назовите экологический показатель, который следует включить в мониторинг независимо от тарифа.

Задание 4. Избыточный запас запасных частей

На складе инженерной службы находится запас деталей на 18,5 млн руб. Анализ показал, что 4,2 млн руб. приходится на позиции, не использовавшиеся более трех лет. Одновременно предприятие ежегодно несет срочные закупки критических деталей примерно на 1,1 млн руб. Разработайте порядок классификации запасов по критичности и оборачиваемости. Не требуется считать эффект продажи неликвидов без данных о возможной цене реализации. Объясните, почему «сократить склад на 30 %» является некорректной Lean-целью.

Задание 5. Потери продукции при хранении

На хранение закладывается 12 000 т картофеля. Фактическая совокупная потеря массы и товарного качества к моменту реализации составляет 8,2 %. После изменения режима мониторинга и стандарта загрузки планируется снизить ее до 6,5 %. Средняя цена реализуемой товарной продукции – 24 руб./кг. Дополнительные ежегодные расходы – 650 тыс. руб. Рассчитайте потенциально сохраненный товарный объем и валовой эффект. Укажите, почему рассчитанную сумму нельзя автоматически считать чистой прибылью.

Вопросы для самопроверки

1. Почему бережливое производство нельзя сводить к сокращению затрат и численности персонала?
2. Раскройте пять принципов Lean Thinking. Почему применение инструментов должно следовать после определения ценности и потока?
3. В чем различаются Lean, Kaizen и процессное управление и каким образом они дополняют друг друга?
4. Какие особенности сельскохозяйственного производства ограничивают прямой перенос промышленной модели Lean?
5. Чем технологически необходимое время или запас отличается от потери? Приведите аграрный пример.
6. В чем различие между muda, mura и muri? Покажите их причинную связь на одном сельскохозяйственном процессе.
7. Какие виды потерь особенно характерны для растениеводства, животноводства, хранения и агрологистики?
8. Почему ресурсосбережение необходимо измерять одновременно в натуральных и стоимостных показателях?
9. Как снижение продовольственных потерь связано с экологическим и ESG-эффектом аграрного предприятия?

ГЛАВА 2. ДИАГНОСТИКА И ИНСТРУМЕНТЫ БЕРЕЖЛИВОГО УПРАВЛЕНИЯ АГРАРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

2.1. Поток создания ценности и картирование аграрных процессов

Диагностика в бережливом управлении начинается не с выбора инструмента, а с определения потока, границ анализа и результата, который имеет ценность для потребителя. Для аграрной организации это особенно существенно: один и тот же ресурс участвует в нескольких технологических циклах, а последствия локального решения могут проявиться на другом участке и позднее по времени. Например, ускорение посева ценой нарушения глубины заделки семян формально сокращает время операции, но не создает ценности, если ухудшает равномерность всходов и повышает риск недобора урожая. Поэтому объектом управления становится не отдельная операция как таковая, а связанная последовательность материальных и информационных действий от возникновения потребности до получения требуемого результата.

В Lean ценность определяется с позиции потребителя результата. Внешним потребителем может быть покупатель зерна, молока, мяса, овощей или иной продукции; внутренним – последующее звено технологической цепи. Для механизатора, выполняющего подготовку почвы, внутренним потребителем является посевная операция; для кормоцеха – животноводческое подразделение; для ремонтной службы – производственный участок, которому требуется исправная техника к определенному сроку. Такой подход предотвращает оптимизацию подразделения за счет ухудшения общего потока.

Все действия в потоке удобно разделять на три группы. Первая – операции, создающие ценность: они непосредственно изменяют объект труда или информацию так, что результат становится ближе к требованиям потребителя. Вторая – действия, ценности не создающие, но временно необходимые из-за технологии, законодательства, санитарных требований или существующей инфраструктуры. Третья – чистые потери, которые можно устранить без ухудшения результата. В аграрном производстве граница между второй и третьей группами требует профессионального анализа. Например, технологически обусловленное ожидание созревания культуры не является потерей, тогда как ожидание свободной машины из-за несогласованного графика – является.

Поток создания ценности (value stream) включает материальную и информационную составляющие. Материальный поток отражает движение семян, удобрений, кормов, животных, сырья, запасных частей, продукции и техники. Информационный поток показывает, кто и на основании каких данных принимает решение, формирует задание, подтверждает выполнение и корректирует план. В сельском хозяйстве именно рассогласование этих двух потоков часто приводит к простоям: ресурс физически присутствует, но наряд не выдан; техника готова, но поле не принято агрономом; продукция собрана, но

транспорт не направлен; запасная часть находится на складе, однако информация о ее наличии не дошла до ремонтной бригады.

Картирование потока создания ценности (VSM) применяется для визуального представления фактического состояния процесса, выявления потерь и проектирования целевого состояния. Lean Enterprise Institute определяет VSM как метод отображения всех действий, создающих и не создающих ценность, а также материального и информационного потоков. Практическая ценность карты состоит не в графическом оформлении, а в формировании общего представления о системе: участники видят не только собственную функцию, но и связи между операциями, запасы, ожидания и точки принятия решений.

Работа с VSM начинается с выбора семейства продукции или конкретного потока. Попытка нанести на одну карту весь сельскохозяйственный холдинг делает схему перегруженной и плохо пригодной для анализа. Рациональнее выбирать управляемый сквозной процесс: например, «подготовка семян – посев», «заготовка и выдача кормосмеси», «приемка молока – охлаждение – отгрузка», «заявка на ремонт – возврат техники в эксплуатацию». Границы должны быть достаточно широкими, чтобы увидеть межфункциональные потери, но достаточно узкими для сбора достоверных данных.

Карта текущего состояния строится по фактическим данным, а не по регламентам. Сотрудники могут описывать процесс так, как он должен выполняться, однако Lean-диагностика требует наблюдения на месте, замеров времени и проверки реального маршрута. Поэтому сбор данных на gemba – в поле, на ферме, складе, ремонтной площадке – принципиально важен. Если карта построена исключительно в кабинете, она часто воспроизводит организационную схему вместо реального потока.

Для каждого шага фиксируют время цикла, время ожидания, количество работников и техники, запас или очередь перед операцией, частоту дефектов и переделок, режим работы, доступность оборудования и правила запуска следующей операции. В аграрном потоке дополнительно полезно отмечать агротехническое окно, расстояние перемещения, погодные ограничения, емкость бункеров или хранилищ, допустимое время нахождения продукции вне заданного температурного режима. Эти параметры позволяют отличить неизбежное технологическое ограничение от организационной потери.

Время цикла характеризует продолжительность выполнения операции для одной единицы продукта, партии или заданного объема. Сквозное время прохождения включает обработку и ожидания. Для управленческих решений критично их не смешивать. Процесс может иметь короткое чистое время обработки, но большое сквозное время из-за очередей и согласований. Например, непосредственная выдача запасной части занимает несколько минут, тогда как техника может ожидать ее несколько часов из-за поиска, оформления заявки и доставки со склада.

Производительность выражает отношение результата к затраченному ресурсу за единицу времени. В зависимости от объекта анализа это могут быть га/ч, т/ч, голов/ч, л молока на одного работника, ремонтов за смену. Однако рост производительности отдельного звена не всегда улучшает поток. Если комбайн увеличивает выработку, а транспорт не успевает вывозить зерно, возникают остановки и локальные запасы. Поэтому показатель анализируют совместно с пропускной способностью соседних операций.

Узкое место – стадия, ограничивающая производительность всего потока. Его поиск требует сравнения фактической пропускной способности операций с требуемой нагрузкой. В сезонных аграрных процессах узкое место может меняться в течение суток или кампании: при уборке им становится комбайн, транспорт, весовая, сушилка или емкость хранения в зависимости от урожайности, влажности, расстояния и графика работы. Это отличает аграрную систему от стабильного поточного производства и требует сценарного анализа.

После понимания текущего состояния проектируется карта будущего состояния. Ее задача – не изобразить идеальный процесс без ограничений, а показать достижимую конфигурацию с меньшими ожиданиями, запасами и возвратами. Проектируя будущее состояние, команда решает, какие операции следует объединить или синхронизировать, где нужен буфер, какой сигнал запуска будет использоваться, какие стандарты и показатели вводятся, какие причины нестабильности необходимо устранить.

Принципиально важно отличать карту будущего состояния от списка пожеланий. Каждое изменение на ней должно иметь основание: измеренную проблему, предполагаемый механизм улучшения, ответственного и показатель результата. Если предлагается изменить маршрут подвоза семян, следует указать, какую долю лишнего пробега это устраняет; если вводится визуальная доска – какое запаздывание информации она сокращает; если создается минимальный запас критических деталей – какой риск простоя он покрывает.

Для пространственно распределенных процессов VSM дополняется диаграммой спагетти. На план участка, фермы, склада, ремонтной зоны или территории наносят фактические перемещения работника, техники, материалов либо документов. Полученный маршрут позволяет увидеть возвраты, пересечения и избыточные перемещения, которые не очевидны из должностных инструкций. В сельском хозяйстве инструмент особенно полезен для анализа перемещений на молочной ферме, складах кормов и запчастей, в мастерских, на сортировочно-упаковочных линиях.

Диаграмма спагетти должна опираться на фактическую траекторию и, по возможности, на измерение расстояния и времени. Сам факт сложного маршрута еще не доказывает наличие значимого резерва. Если перепланировка позволяет сократить путь оператора на 1,5 км за смену, эффект можно перевести в

высвобожденное рабочее время; для погрузчика – в моточасы и топливо. Тогда визуальный инструмент становится основой экономического обоснования.

Хронометраж применяется для установления фактической структуры затрат времени. В отличие от разового замера, качественный хронометраж учитывает повторяемость, разброс и причины отклонений. Для сезонных работ важно фиксировать контекст: поле, расстояние, смену, влажность, состояние техники, квалификацию работника. Смещение наблюдений из несопоставимых условий может привести к ошибочному стандарту.

Практически полезно разделять время на основную работу, вспомогательные действия, технологически необходимое ожидание, организационное ожидание, переделки и перемещения. Такая структура позволяет увидеть не только среднее время цикла, но и долю деятельности, не создающей ценности. В управленческом анализе показатель доли полезного времени часто более информативен, чем абсолютная продолжительность операции.

Диагностика завершается формированием приоритетов. Не каждую потерю нужно устранять первой. Приоритет задается сочетанием влияния на сквозной результат, повторяемости, стоимости, риска качества и трудоемкости изменения. Для уборочной кампании простой ключевой машины в агротехническое окно может иметь значительно больший экономический эффект, чем множество небольших потерь времени в несезонных операциях. Lean требует концентрации на системном ограничении, а не максимального количества локальных инициатив.

Таблица 2.1 – Показатели для карты текущего состояния аграрного процесса

Показатель	Содержание	Пример единицы измерения	Диагностический смысл
Время цикла (СТ)	Фактическая длительность выполнения операции	мин/партия; ч/поле	Показывает скорость операции
Сквозное время (LT)	Период от входа в процесс до готового результата	ч; сут	Отражает обработку и ожидания
Время ожидания	Простой продукта, техники или информации между операциями	мин; ч	Выявляет разрывы синхронизации
Производительность	Объем результата за единицу ресурса/времени	га/ч; т/ч; л/ч	Позволяет сравнить пропускную способность
Запас/очередь	Объем незавершенного	т; партии; заявки	Указывает на несбалансированность

	потока между операциями		
Доля переделок/дефектов	Часть результата, требующая повторной обработки или списания	%	Характеризует качество процесса
Расстояние перемещения	Путь работника, материала или техники	м; км	Выявляет транспортные потери
Доступность оборудования	Доля времени, когда оборудование способно выполнять работу	%	Показывает влияние отказов и обслуживания

Базовые показатели могут рассчитываться следующим образом:

$$P = \frac{Q}{T}, \quad (2.1)$$

P – производительность;

Q – объем полезного результата;

T – затраченное время.

$$K_{VA} = \frac{T_{VA}}{T_{LT}} \times 100\%, \quad (2.2)$$

K_{VA} – доля времени создания ценности;

T_{VA} – время операций, создающих ценность;

T_{LT} – сквозное время.

Для диагностических целей важна динамика показателей и сопоставимость условий измерения, а не только их абсолютное значение.

2.2. Организация и стандартизация производственных процессов

Картирование показывает, где возникают потери, но само по себе не обеспечивает устойчивого улучшения. Следующий этап – организация рабочего пространства, установление понятных правил выполнения операций и формирование механизма управления потоком. В Lean эти задачи решаются с помощью 5S, визуального управления, стандартизированной работы, SOP, Kanban и принципа Just-in-Time. Инструменты взаимосвязаны: 5S создает физическую упорядоченность, визуальное управление делает отклонения заметными, стандарт фиксирует лучший известный способ работы, а Kanban и JIT регулируют движение ресурсов.

Система 5S включает сортировку, самоорганизацию/рациональное размещение, содержание в чистоте, стандартизацию и совершенствование установленного порядка. Ошибочно воспринимать 5S как генеральную уборку.

Ее управленческая задача – устранить потери поиска, перемещений и ошибок, а также создать условия, при которых отклонение от нормы становится видимым. В мастерской это означает не просто чистые полки, а фиксированные места инструмента и расходных материалов, маркировку, минимально необходимый запас и понятный порядок восстановления комплекта после работы.

В аграрной организации 5S применима к ремонтным мастерским, складам, лабораториям, пунктам хранения СЗР, кормоцехам, доильным залам, кабинам техники и мобильным сервисным комплектам. При этом требования безопасности и ветеринарно-санитарные нормы имеют приоритет. Рациональное размещение химических средств не может нарушать правила хранения ради уменьшения расстояния; следовательно, Lean-решение ищется внутри обязательных ограничений.

Первый шаг 5S – сортировка – предполагает отделение необходимых предметов от избыточных, неисправных и неиспользуемых. На складе запасных частей результатом может стать выделение неликвидов и дублирующихся позиций; в мастерской – исключение сломанного инструмента; на рабочем месте оператора – сокращение количества документов и расходных материалов. Однако изъятие запасов должно учитывать сезонный риск: деталь с редким спросом может быть критичной в период уборки, когда срок поставки неприемлем.

Второй шаг – рациональное размещение – отвечает на вопросы «что, где и в каком количестве должно находиться». Используются адресное хранение, контурная разметка, теньевые панели, обозначение зон, подписи, цветовые и символные коды. Критерий хорошей организации – предмет можно быстро найти, взять, использовать и вернуть. Для мобильных бригад полезен принцип комплектования набора под типовое обслуживание, чтобы не совершать многократные поездки за инструментом.

Третий шаг – содержание в чистоте – имеет диагностический смысл. На технике загрязнение может скрывать подтекание масла или повреждение; в кормоцехе накопление остатков указывает на просыпи; на упаковочной линии загрязнение может быть ранним сигналом нарушения процесса. Поэтому уборка соединяется с осмотром и профилактикой, а не выполняется как отдельная хозяйственная функция.

Четвертый и пятый шаги закрепляют достигнутый порядок через визуальные стандарты, чек-листы, периодический аудит и участие работников в улучшении. Без стандартизации 5S быстро превращается в разовую кампанию. Для устойчивости важно назначить владельца зоны, определить частоту проверки и несколько наблюдаемых критериев, например доступность проходов, наличие предметов на обозначенных местах, отсутствие просроченных материалов и соблюдение минимально-максимального уровня запаса.

Визуальное управление делает состояние процесса понятным без длительного поиска данных. Хороший визуальный элемент отвечает на три вопроса: что должно происходить, что происходит фактически и есть ли отклонение. В аграрном производстве это могут быть доска готовности техники, статус полей, график мойки и обслуживания, уровень запасов кормов, маркировка партий, индикаторы температуры хранения, план-факт выполнения сменного задания.

Избыток информационных панелей снижает эффективность визуального управления. Если доска содержит десятки показателей, которые не влияют на ежедневные решения, она превращается в отчетность. Набор индикаторов должен соответствовать уровню управления. Для оператора – параметры текущей операции; для мастера – отклонения смены; для руководителя – сквозные показатели процесса и проблемы, требующие межфункционального решения.

Стандартизированная работа – зафиксированный лучший известный на данный момент способ выполнения повторяющейся операции с заданным результатом, последовательностью и ресурсами. Стандарт не отменяет инициативу. Напротив, без базового способа невозможно отличить улучшение от индивидуального варианта работы и сопоставить результат до и после изменения. Kaizen изменяет стандарт, а новый стандарт закрепляет результат Kaizen.

В сельском хозяйстве стандартизация особенно полезна там, где результат зависит от последовательности действий: ежедневный осмотр техники, подготовка агрегата, отбор проб, санитарная обработка, настройка доильного оборудования, приготовление раствора, приемка сырья, запуск и остановка линии. Для операций с высокой вариативностью стандарт фиксирует не единственный режим, а правила выбора режима в зависимости от условий.

SOP (standard operating procedure) описывает порядок выполнения процедуры, ответственность, контрольные точки и требования безопасности/качества. SOP и стандартизированная работа близки, но не тождественны. SOP чаще имеет документальный и регламентирующий характер, тогда как стандартизированная работа в Lean ориентирована на фактический рабочий цикл, время, последовательность и выявление отклонений. В учебном пособии целесообразно использовать оба понятия: SOP – как форму закрепления требований, стандартизированную работу – как инструмент совершенствования потока.

При разработке стандарта следует избегать двух крайностей. Слишком общий документ не помогает работнику принимать решение; чрезмерно детальный становится неудобным и перестает использоваться. Практический стандарт должен быть доступен в месте выполнения операции, содержать только

необходимые действия и контрольные параметры, а также иметь понятный механизм актуализации.

Канбан – визуальный или цифровой сигнал, который разрешает производство, перемещение либо пополнение определенного количества ресурса. Его функция – связать потребление с пополнением и ограничить объем незавершенного потока. Для аграрного предприятия Kanban применим прежде всего к повторяемым материальным потокам: расходным материалам ремонтной службы, упаковке, комплектующим, средствам гигиены, лабораторным материалам, отдельным видам запасных частей.

Классическая двухконтейнерная схема проста: пока используется первый контейнер, второй обеспечивает запас на период пополнения; освобождение контейнера становится сигналом заказа. Количество и размер контейнеров определяются фактическим потреблением, временем поставки и страховым резервом. В сезонном бизнесе параметры Kanban не должны оставаться одинаковыми круглый год: потребление фильтров, масел или упаковки может резко увеличиваться в конкретные кампании.

Принцип Just-in-Time означает обеспечение нужного ресурса, в нужном количестве и в нужный момент. В аграрном производстве его нельзя трактовать как отказ от запасов. Риск погодных окон, удаленность поставщиков и биологическая непрерывность некоторых процессов делают нулевой запас экономически опасным. Корректная адаптация JIT состоит в сокращении избыточного запаса при одновременном обосновании тех резервов, которые защищают поток от критического сбоя.

Управление запасами поэтому должно разграничивать рабочий, страховой, сезонный и избыточный запас. Рабочий обеспечивает текущий цикл; страховой компенсирует неопределенность; сезонный формируется заранее из-за будущего скачка спроса или ограничений поставки; избыточный не имеет экономически обоснованной функции. Leap нацелен прежде всего на последний, одновременно снижая причины, из-за которых страховой запас вынужденно завышен.

Внутрипроизводственный поток регулируется не только запасом материалов, но и емкостью промежуточных буферов, графиком транспорта и правилами приоритизации. Например, при уборке зерна ограниченная емкость временного хранения может выполнять полезную функцию буфера между полем и сушилкой. Задача состоит не в устранении буфера как такового, а в выборе его размера, который обеспечивает устойчивость при минимальных потерях качества и капитала.

Система организации и стандартизации считается работающей, когда отклонение становится заметным быстро, а восстановление нормы не зависит исключительно от конкретного опытного сотрудника. Если информация о неисправности хранится «в голове механика», если местонахождение детали знает только кладовщик, а порядок настройки агрегата передается устно, процесс

уязвим. Lean переводит критические знания в понятный стандарт и визуальную систему, сохраняя при этом пространство для профессионального решения в нестандартной ситуации.

Таблица 2.2 – Адаптация 5S к объектам аграрного предприятия

Шаг	Содержание	Пример применения	Измеримый результат
1S – сортировка	Удаление ненужного и выделение необходимого	Ревизия инструмента и неликвидных запчастей	Сокращение количества позиций и времени поиска
2S – самоорганизация	Фиксированные места и логика размещения	Адресный склад, теневые панели, комплект сервисной тележки	Снижение перемещений и времени комплектования
3S – содержание в чистоте	Очистка одновременно с осмотром	Контроль подтеканий на технике; удаление просыпей кормов	Раннее выявление отклонений, снижение потерь
4S – стандартизация	Единые правила поддержания состояния	Фотоэталон зоны, чек-лист, min–max отметки	Стабильность выполнения
5S – совершенствование	Аудит и регулярное улучшение	Еженедельный аудит зоны и предложения работников	Сохранение результата, новые улучшения

Для упрощенной настройки карточки Kanban можно использовать расчет:

$$N_K = \frac{d \times L \times k_s}{B}, \quad (2.3)$$

N_K – количество Kanban-карточек;

d – среднее потребление ресурса за период;

L – время пополнения;

k_s – коэффициент страхового резерва;

B – размер стандартной партии.

Коэффициент запаса должен быть обоснован вариабельностью спроса и поставки; его механическое завышение сохраняет скрытые проблемы процесса.

2.3. Непрерывное совершенствование и повышение надежности процессов

Стабильный стандарт не является конечной точкой бережливого управления. Он создает базу, относительно которой можно измерить отклонение и провести улучшение. Непрерывное совершенствование строится на повторяющемся цикле постановки проблемы, анализа причин, проверки

контрмеры и закрепления результата. В эту систему входят Kaizen, PDCA, A3, «5 почему», диаграмма Исикавы, TPM, OEE и SMED.

Kaizen означает последовательное улучшение процесса с вовлечением работников, непосредственно выполняющих работу. Его экономическая логика заключается в накоплении множества обоснованных изменений, которые уменьшают потери и вариативность без обязательных крупных инвестиций. Однако Kaizen не исключает капитальные решения. Если первопричина потерь связана с физическим ограничением оборудования, инвестиция может быть необходима; задача Lean – сначала доказать ограничение и убедиться, что более простые меры исчерпаны.

Цикл PDCA (Plan–Do–Check–Act) задает дисциплину эксперимента. На стадии Plan формулируется проблема, измеряется исходное состояние, устанавливается цель и проверяется гипотеза о причине. На стадии Do контрмера тестируется в ограниченном масштабе. Check предполагает сравнение фактического результата с целью и анализ побочных эффектов. На стадии Act успешное решение стандартизируется; при неуспехе цикл начинается заново с новой гипотезой.

В аграрных процессах стадия проверки может быть длительной из-за сезонности. Результат изменения технологии посева нельзя всегда подтвердить в течение нескольких дней. Поэтому следует различать оперативные показатели процесса и итоговые показатели результата. Например, новая схема подвоза семян сразу проверяется по времени простоя сеялки, а влияние на урожайность оценивается позднее и с учетом факторов, не связанных непосредственно с логистикой.

A3 – формат структурированного решения проблемы на одном листе, который соединяет факты, причинный анализ, целевое состояние, контрмеры, план внедрения и проверку результата. Ценность A3 не в размере бумаги, а в логике рассуждения и прозрачности предпосылок. Хороший A3 позволяет другому руководителю понять, почему выбрана конкретная контрмера и на каких данных основан вывод.

Типовая логика A3 включает: контекст и значение проблемы; текущее состояние; формулировку разрыва между фактом и целью; анализ первопричин; целевое состояние; набор контрмер; план действий; показатели последующего контроля. В аграрной организации A3 полезен для повторяющихся простых техник, потерь кормов, отклонений температуры хранения, увеличения расхода топлива или превышения времени обработки заявок.

Анализ первопричин необходим потому, что непосредственное проявление проблемы часто не является ее причиной. Если трактор простаивает из-за отсутствия фильтра, очевидная реакция – увеличить запас фильтров. Однако дальнейший анализ может показать, что заявки формируются по факту отказа, регламент обслуживания не связан со складской системой, а фактический расход

деталей не учитывается. В этом случае чрезмерный склад лишь маскирует ненадежный процесс планирования.

Метод «5 почему» строится на последовательном уточнении причинно-следственной связи. Число «пять» условно: вопросов может быть меньше или больше. Критерий завершения – достижение причины, на которую организация способна воздействовать и связь которой с проблемой подтверждается фактами. Ошибкой является переход к психологическим объяснениям типа «работник невнимателен» без анализа условий, стандарта, обучения и средств контроля.

Диаграмма Исикавы применяется, когда проблема имеет несколько возможных групп причин. Для производственного процесса часто используют категории «человек – машина – метод – материал – измерение – среда». В сельском хозяйстве последняя категория особенно значима: температура, влажность, осадки, состояние почвы и биологические характеристики могут изменять процесс. Однако включение природного фактора в диаграмму не должно становиться универсальным оправданием. Необходимо отделить внешний фактор от управляемой реакции организации на него.

После построения диаграммы причина должна перейти к проверке гипотез. Сама схема не устанавливает причинность. Если предполагается, что перерасход топлива связан с давлением в шинах, необходим замер; если источником простоя считается поздняя подача транспорта – сравнение фактического графика прибытия с потребностью; если потери корма объясняются настройкой раздатчика – контроль выдачи и остатка. Lean требует факта, а не голосования за наиболее правдоподобную версию.

Total Productive Maintenance (TPM) направлено на повышение надежности оборудования через совместную ответственность операторов и технической службы, профилактику отказов, стандартизацию обслуживания и устранение причин потерь эффективности. Для аграрного предприятия TPM особенно значимо из-за высокой стоимости простоя техники в короткое технологическое окно. Час отказа в период уборки и час отказа зимой имеют различную экономическую цену, поэтому приоритет обслуживания должен учитывать критичность процесса.

Автономное обслуживание в TPM предполагает выполнение оператором простых регулярных действий: очистка, визуальный осмотр, контроль уровней, обнаружение утечек и необычных шумов, проверка креплений в пределах компетенции. Оно не заменяет квалифицированный ремонт. Его задача – поддерживать базовые условия работы и раньше выявлять отклонения. Ремонтная служба при этом концентрируется на сложной диагностике, плановой профилактике и устранении системных причин отказов.

OEE (Overall Equipment Effectiveness) – интегральный показатель общей эффективности оборудования, традиционно включающий доступность, производительность и качество.

$$OEE = A \times P \times Q, \quad (2.4)$$

OEE – общая эффективность оборудования;

A – доступность оборудования;

P – производительность относительно заданного уровня;

Q – доля годного результата;

Показатель полезен для структурирования потерь, однако требует корректного определения базы. Если нормативная скорость завышена или качество измеряется формально, итоговый OEE вводит в заблуждение.

В аграрной практике понятие «качество» для OEE следует адаптировать к объекту. Для сортировочной линии это доля продукции, соответствующей спецификации; для кормоцеха – доля партий с требуемой рецептурой; для операции внесения – доля площади, обработанной в допустимых параметрах. Для полевых машин иногда целесообразно дополнить OEE показателями технологического качества, поскольку высокая скорость при пропусках или повреждении продукта не является эффективностью.

Доступность оборудования рассчитывается как фактическое время работы / плановое производственное время. На нее влияют аварийные простои, наладка, ожидание ремонта и другие остановки. Производительность сравнивает фактический выпуск в рабочее время с потенциальным при установленной скорости. Качество отражает долю результата, принятого без переделки или потери. Разложение OEE помогает понять, какой тип потери доминирует и где должна быть контрмера.

SMED (Single-Minute Exchange of Die) разработан как подход к сокращению времени переналадки. Его логика применима шире смены штампа: подготовка сеялки к другой культуре, перенастройка сортировочной линии, переход между видами упаковки, мойка и настройка оборудования между партиями. Основной принцип – разделить внутренние операции, которые возможны только при остановленном оборудовании, и внешние, которые можно выполнить заранее во время работы.

Первый этап SMED – наблюдение и точное описание фактической переналадки. Затем операции классифицируются на внутренние и внешние; максимально возможная часть внутренних переводится во внешние; оставшиеся операции упрощаются, выполняются параллельно или обеспечиваются быстрыми креплениями и стандартными комплектами. Если инструмент ищут уже после остановки машины, это очевидный кандидат на внешнюю подготовку.

В сельском хозяйстве сокращение переналадки дает эффект не только через увеличение машинного времени. Оно может уменьшить риск выхода за агротехническое окно, снизить сверхурочную нагрузку и повысить гибкость работы малыми партиями. При этом ускорение недопустимо за счет контрольных операций, влияющих на безопасность или технологическое качество. Lean сокращает ненужное время, а не обязательную проверку.

Надежность бережливой системы обеспечивается связью инструментов. VSM показывает участок с высоким ожиданием; хронометраж уточняет структуру времени; «5 почему» или Исикава выявляют вероятную первопричину; PDCA позволяет проверить контролеру; SMED или TPM меняют способ работы; стандарт закрепляет результат; визуальное управление позволяет видеть отклонение; OEE показывает, сохранился ли эффект. Изолированное применение одного инструмента дает менее устойчивый результат.

Для руководителя принципиален вопрос экономического приоритета. Улучшение должно оцениваться по влиянию на поток: сокращению сквозного времени, предотвращенным потерям продукции, высвобождению мощности, снижению потребления ресурсов, затратам на ремонт и риску срыва технологических сроков. Именно такая связь переводит Lean из набора производственных техник в систему управленческих решений.



Рисунок 2.1 – Логика применения методов анализа причин



Рисунок 2.2 – Структура ОЕЕ и аграрная интерпретация

При выражении A , P и Q в долях ОЕЕ рассчитывается их произведением. Например, при $A = 0,90$, $P = 0,85$ и $Q = 0,98$ общий показатель составляет $0,7497$, или $74,97\%$. Низкое итоговое значение не следует интерпретировать без разложения: одинаковый ОЕЕ может быть следствием совершенно разных проблем и требовать разных решений.

Практические кейсы

Кейс 1. Картирование потока «уборка зерна – доставка – приемка – сушка»

Условие. Сельскохозяйственная организация анализирует работу в период уборки. За смену комбайны формируют в среднем 180 т зерна. Транспортировка от поля до зернотока занимает 35 мин , ожидание автомобиля под загрузкой – 12 мин , сама загрузка – 8 мин , движение до зернотока – 22 мин , ожидание разгрузки – 28 мин , разгрузка – 7 мин . На зернотоке партия в среднем ожидает запуска в сушилку 95 мин ; непосредственная обработка партии длится 40 мин . В анализируемый день зарегистрировано 18 рейсов. После изменения диспетчеризации и введения визуального статуса загрузки/разгрузки среднее ожидание автомобиля под загрузкой снизилось до 5 мин , ожидание разгрузки – до 12 мин , ожидание перед сушилкой – до 55 мин . Дополнительные инвестиции не требовались; настройка цифровой доски и обучение персонала оценены в 48 тыс. руб. Учебные данные условные.

Задание.

- 1) Построить укрупненную карту текущего и будущего состояния;
- 2) рассчитать изменение времени, не создающего ценность, для одного рейса и для 18 рейсов;

3) определить, какой участок следует рассматривать как потенциальное узкое место;

4) сформулировать не менее трех показателей ежедневного контроля.

Кейс 2. SMED и OEE на сортировочно-упаковочной линии

Условие. Линия работает 480 мин за смену. Плановые перерывы составляют 30 мин. До улучшения аварийные и организационные остановки занимали 45 мин, переналадка между двумя типами упаковки – 50 мин. Во время фактической работы линия выпускала 82 упаковки/мин при эталонной скорости 90 упаковок/мин. Доля продукции, принятой без переделки, – 98,5 %. После SMED переналадка сокращена до 22 мин; прочие остановки – до 35 мин; фактическая скорость выросла до 85 упаковок/мин, качество – до 99,0 %. Стоимость проекта составила 120 тыс. руб. Маржинальный эффект дополнительной годной упаковки условно принимается равным 3,2 руб. Линия работает 220 смен в год. Данные учебные.

Рассчитайте OEE линии до и после внедрения SMED, определите прирост выпуска годной продукции за смену и за год, оцените годовой экономический эффект и простой срок окупаемости проекта. Сделайте вывод о влиянии сокращения переналадки на общую эффективность линии.

Задания для самостоятельной работы

Общие методические указания. Для каждого задания рекомендуется выполнить пять шагов: (1) установить границы процесса и потребителя результата; (2) собрать или использовать предложенные фактические данные; (3) определить вид потери и вероятные причины; (4) выбрать Lean-инструмент и обосновать, почему он воздействует на причину, а не только на симптом; (5) рассчитать натуральный и, где возможно, экономический эффект. Расчеты удобно выполнять в Excel. Исходные и целевые показатели следует размещать в отдельных столбцах, формулы не заменять вручную введенными результатами.

Задание 1. VSM процесса обеспечения техники запасными частями

На предприятии 24 единицы самоходной техники. За месяц зарегистрировано 38 заявок на запчасти. Среднее время оформления заявки – 18 мин, ожидание согласования – 2,4 ч, поиск позиции на складе – 22 мин, ожидание выдачи – 35 мин, доставка до мастерской – 28 мин. В 7 случаях нужная позиция числилась в системе, но не была найдена на обозначенном месте, поэтому оформление и поиск повторялись. Постройте укрупненную карту текущего состояния, определите долю времени обработки и ожидания, выявите минимум три потери. Предложите будущее состояние с использованием адресного хранения, визуального min-max и стандартной заявки. Рассчитайте, насколько

должно сократиться сквозное время, если согласование снизится до 40 мин, поиск – до 7 мин, ожидание выдачи – до 10 мин, доставка не изменится.

Задание 2. Диаграмма спагетти для кормоцеха

Оператор за смену 12 раз проходит от пульта управления до зоны отбора проб (46 м в одну сторону), 8 раз – до шкафа с инструментом (31 м в одну сторону) и 6 раз – до принтера документов (24 м в одну сторону). Средняя скорость ходьбы – 4,5 км/ч. После перепланировки расстояния в одну сторону составят соответственно 18, 8 и 6 м. Рассчитайте суточное сокращение расстояния и времени перемещений. Если стоимость часа труда с начислениями условно равна 520 руб., оцените потенциальный годовой резерв при 300 рабочих днях. Укажите, почему весь высвободившийся трудовой ресурс нельзя автоматически считать денежной экономией.

Задание 3. Канбан для расходных материалов ремонтной службы

Средний расход комплекта фильтров составляет 6 шт. в день, время пополнения – 4 рабочих дня, размер стандартной партии – 8 шт. Для учета вариации используется коэффициент страхового резерва 1,25. Рассчитайте количество Канбан-карточек. Затем пересчитайте систему для сезонного периода, когда расход увеличивается до 10 шт. в день, а срок поставки до 5 дней. Объясните, почему одинаковый уровень Канбан в течение года создаст либо дефицит, либо избыточный запас.

Задание 4. Анализ первопричин повторяющегося простоя

За две недели трижды останавливался кормораздатчик из-за разрыва приводного ремня. Предварительное обсуждение выявило факты: ремень менялся после отказа; натяжение до начала смены не контролировалось; в чек-листе осмотра этот пункт отсутствует; один из шкивов имеет признаки несоосности; информация о прошлых отказах не анализировалась. Постройте цепочку «5 почему» и диаграмму Исикавы минимум по четырем категориям. Разделите предполагаемые причины и подтвержденные факты. Предложите план проверки гипотез и контрмеры в цикле PDCA.

Задание 5. Расчет ОЕЕ и выбор приоритета улучшений

Плановое производственное время линии подготовки овощей – 420 мин. Остановки – 62 мин. Эталонная производительность – 2,8 т/ч, фактическая в рабочее время – 2,35 т/ч. Из 14,0 т обработанного сырья 13,3 т соответствует требованиям без повторной сортировки. Рассчитайте А, Р, Q и ОЕЕ. Затем оцените два сценария: А) сократить остановки на 30 мин при неизменных Р и Q; Б) повысить производительность до 2,55 т/ч при неизменных А и Q. Сравните прирост ОЕЕ и укажите, почему окончательный выбор проекта должен

учитывать не только изменение интегрального показателя, но и стоимость внедрения и ограничение всего потока.

Вопросы для самопроверки

1. Чем поток создания ценности отличается от отдельного технологического процесса или функции подразделения?
2. По каким критериям операция относится к создающей ценность, необходимой, но не создающей ценность, либо к чистой потере?
3. Какие данные необходимо собрать для построения карты текущего состояния аграрного процесса и почему карта не должна строиться только по регламентам?
4. Чем карта текущего состояния отличается от карты будущего состояния и какую роль в VSM играет информационный поток?
5. В каких аграрных процессах диаграмма спагетти дает наиболее полезный результат и как перевести ее выводы в экономические показатели?
6. Почему 5S нельзя сводить к уборке рабочего места и какие ограничения аграрной сферы необходимо учитывать при сокращении запасов?
7. Как соотносятся стандартизированная работа, SOP и визуальное управление?
8. В чем логика Kanban и Just-in-Time и почему нулевой запас не является универсальной целью для сельского хозяйства?
9. Как связаны Kaizen, PDCA и A3 при решении повторяющейся производственной проблемы?
10. Чем симптом отличается от первопричины и почему диаграмма Исикавы сама по себе не доказывает причинную связь?
11. Какие компоненты образуют OEE и как интерпретировать низкое значение этого показателя?
12. В чем состоит логика SMED и какие операции переналадки сельскохозяйственной техники можно перевести из внутренних во внешние?

Выводы по главе

Диагностика бережливого процесса строится вокруг сквозного потока создания ценности, а не организационных границ подразделений. VSM позволяет связать материальное движение, информационные сигналы, время цикла, ожидания, запасы и производительность; карта будущего состояния превращает результаты наблюдения в проект изменений.

Организация рабочего пространства и стандартизация обеспечивают устойчивость потока. 5S, визуальное управление, стандартизированная работа и SOP делают нормальное состояние наблюдаемым, а Kanban и Just-in-Time связывают потребление с пополнением. Для аграрной сферы принципиальна

адаптация этих инструментов к сезонности, логистическому риску и необходимости обоснованных резервов.

Непрерывное совершенствование требует анализа причин и проверки контрмер. PDCA и АЗ задают логику решения проблемы, «5 почему» и Исикава помогают формировать и проверять гипотезы, ТРМ повышает надежность оборудования, ОЕЕ структурирует потери эффективности, а SMED сокращает время переналадки. Их совместное применение формирует цикл «наблюдение – причина – контрмера – стандарт – контроль».

Для экономиста и менеджера ключевой результат Lean-диагностики заключается не в самом факте применения инструмента, а в измеримом изменении потока: сокращении сквозного времени и потерь ресурсов, повышении доступности мощностей, снижении запасов и затрат, предотвращении потерь продукции и уменьшении риска нарушения технологических сроков.

ГЛАВА 3. БЕРЕЖЛИВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

3.1. Диагностика и оптимизация технологического потока производства продукции растениеводства

Технологический поток в растениеводстве представляет собой последовательность взаимосвязанных операций от подготовки поля и размещения семян до уборки, транспортировки и передачи урожая на хранение или переработку. Его результат формируется не одной операцией, а согласованностью всех стадий. Если посев проведен с задержкой, последующие работы уже не способны полностью компенсировать потерю потенциальной урожайности; если уборочная техника простаивает из-за несогласованной логистики, возникает не только потеря времени, но и риск прямых потерь урожая. Поэтому объектом Lean-диагностики становится весь поток, а не производительность отдельной машины.

В классическом процессном представлении каждая операция имеет вход, ресурсное обеспечение, технологическое действие и выход. Для растениеводства к этому добавляется агротехническое окно – допустимый период выполнения работы, в пределах которого операция обеспечивает требуемый биологический результат. По этой причине одинаковое сокращение времени имеет разную ценность. Ускорение перемещения трактора между полями может уменьшить непроизводительный пробег, тогда как чрезмерное ускорение посева за счет повышения рабочей скорости способно ухудшить равномерность заделки семян. Бережливое управление требует различать технологически необходимое время и потери времени.

Диагностику целесообразно начинать с формирования карты производственного цикла конкретной культуры. В ней фиксируют подготовку почвы, предпосевную обработку, посев, внесение удобрений, химические или биологические обработки, междурядные операции, полив при наличии орошения, уборку, транспортировку и первичную доработку. Для каждой стадии определяются продолжительность, требуемые машины, число работников, производительность, расход топлива и материалов, расстояния перемещений, ожидания и повторные проходы.

Таблица 3.1 – Объекты Lean-диагностики в технологическом потоке растениеводства

Этап	Типичные ресурсы	Возможные потери	Контрольный показатель
Подготовка почвы	тракторы, почвообрабатывающие агрегаты, ГСМ, рабочее время	лишние проходы, перекрытия, ожидание агрегатов, нерациональные маршруты	га/ч; л/га; км непроизводительного пробега

Посев	семена, сеялка, трактор, ГСМ	пересев, пропуски, перекрытия, отклонение нормы высева, простои на загрузке	кг семян/га; доля перекрытий; га/смену
Уход за посевами	удобрения, СЗР, вода, опрыскиватели, разбрасыватели	повторные обработки, превышение нормы, пропуски, нерациональная доставка раствора	кг или л/га; доля повторных проходов
Уборка	комбайны, транспорт, ГСМ, персонал	ожидание транспорта, простои, потери за жаткой, задержка уборки	т/ч; потери, %; коэффициент использования смены
Транспортировка и доработка	автомобили, зерноочистка, сушилка, энергия	очереди, возвратные перемещения, лишнее хранение, пересушка	т/ч; кВт·ч/т; время ожидания

Первый тип потерь – ожидание. В растениеводстве оно проявляется в простоях агрегатов из-за отсутствия семян, топлива, воды, транспорта, механизатора, ремонтной бригады или технологического решения. Особенно высока цена ожидания в короткие агротехнические окна. Один час простоя в межсезонье и один час простоя комбайна в период массовой уборки экономически неравнозначны. Поэтому при анализе простоев необходимо учитывать не только продолжительность, но и временную критичность операции.

Второй тип – лишние перемещения. Они возникают при удаленном размещении складов, заправочных пунктов и мест приготовления растворов, при нерациональном порядке обработки полей, холостых переездах техники и возвратных маршрутах. Для их выявления применяется диаграмма спагетти, GPS-треки и маршрутный анализ. Сам по себе большой пробег не всегда является потерей: сельскохозяйственное производство территориально распределено. Потерей считается та часть маршрута, которую можно устранить без ухудшения агротехнологического результата.

Третий тип – повторные операции. Повторная обработка может быть следствием пропусков, перекрытий, ошибок дозирования, несоблюдения срока, неисправности оборудования или недостатка информации. В отличие от планового двукратного применения технологического приема, повтор из-за дефекта не создает новой ценности и увеличивает затраты. При опрыскивании он одновременно повышает расход препарата и экологическую нагрузку; при почвообработке – расход топлива и риск уплотнения почвы.

Четвертая группа связана с несинхронностью производительности смежных звеньев. Если комбайн способен убирать 35 т/ч, а транспорт фактически вывозит 25 т/ч, ограничением потока становится логистика. Увеличение числа комбайнов в такой ситуации не ускоряет поток, а повышает ожидание и

инвестиционную нагрузку. Аналогичная проблема возникает между уборкой, сушкой и хранением: производительность сушильного комплекса может ограничивать прием зерна даже при достаточной пропускной способности уборочного звена.

$$P_{\text{потока}} = \min(P_1, P_2, \dots, P_n), \quad (3.1)$$

$P_1 \dots P_n$ – фактическая производительность последовательных стадий потока;

n – число стадий потока.

Формула показывает принцип узкого места: результат сквозного потока ограничивается стадией с наименьшей пропускной способностью. Для аграрного менеджера это означает, что локальная загрузка каждой единицы техники не является самостоятельной целью. Приоритетом выступает согласованность потока в пределах технологического окна.

Синхронизация начинается с расчета потребной сменной производительности. Если площадь посева составляет 2400 га, а работа должна быть выполнена за 12 календарных дней при ожидаемом коэффициенте использования сменного времени 0,8, средний требуемый темп составляет 250 га фактической работы в день. Далее определяется состав агрегатов, логистика семян и топлива, режим технического обслуживания и резерв на погодные остановки. Такой расчет позволяет перейти от интуитивного планирования к управлению тактом аграрного процесса.

$$T_{\text{сут}} = \frac{S}{D \times K_{\text{исп}}}, \quad (3.2)$$

$T_{\text{сут}}$ – требуемый суточный темп;

S – площадь работ, га;

D – доступное число дней;

$K_{\text{исп}}$ – коэффициент использования доступного времени.

Показатель не является промышленным в строгом смысле, поскольку спрос задается не равномерным потреблением, а агротехнологическим сроком. Тем не менее он выполняет ту же управленческую функцию: связывает объем работы с доступным временем.

Для хронометража полевых процессов смену целесообразно разложить на продуктивное время, технологически необходимое вспомогательное время и потери. К продуктивному относится фактическое выполнение операции; к необходимому вспомогательному – развороты, нормативная загрузка семян или выгрузка зерна, предусмотренные технологией; к потерям – ожидание, устранение повторяющихся неисправностей, поиск материалов, незапланированные возвраты и лишние переезды. Цель улучшения – прежде всего сокращение третьей составляющей, а затем оптимизация второй.

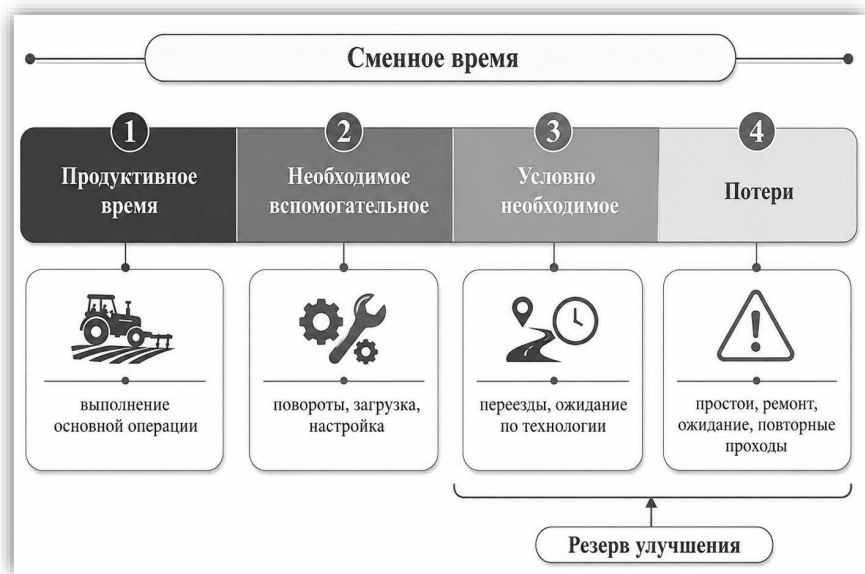


Рисунок 3.1 – Структура затрат времени в полевом процессе

Оптимизация потока должна завершаться проектированием будущего состояния. В нем задаются сокращенные маршруты, правила пополнения материалов, точки профилактического обслуживания, график взаимодействия техники и транспорта, цифровой обмен заданиями и контроль фактических отклонений. Важен не только расчет экономии. Изменение должно быть закреплено стандартом: кто формирует задания, где размещаются ресурсы, по какому сигналу запускается подвоз, кто контролирует норму и как фиксируется отклонение.

Для растениеводства особенно важен принцип «качество в процессе». Дефект, обнаруженный после уборки, часто уже невозможно исправить. Неправильная глубина посева, завышенная норма гербицида или пропуск при внесении удобрения проявляются позднее, но формируются в момент операции. Поэтому диагностика должна включать контроль параметров непосредственно во время работы: нормы внесения, глубины, скорости, давления, качества распыла, влажности, потерь за комбайном. Это переносит Lean от учета последствий к предупреждению потерь.

3.2. Бережливое использование земельных, материальных и технических ресурсов

Ресурсосбережение в растениеводстве часто отождествляют с уменьшением нормы расхода. Такое понимание слишком узко. Бережливое использование означает достижение требуемого агротехнологического результата при минимуме неоправданных потерь ресурса. Если снижение нормы высева ухудшает густоту стояния и урожайность, экономия семян оказывается ложной. Если уменьшение числа резервных машин повышает риск срыва уборочного окна, формальное сокращение мощностей может увеличить совокупные потери. Следовательно, объектом управления является не минимальный расход, а оптимальное соотношение «ресурс – результат – риск».

Земельный ресурс отличается от большинства производственных ресурсов тем, что он одновременно является пространством, средством производства и носителем плодородия. Lean-подход к земле включает уменьшение технологических перекрытий, предотвращение избыточного уплотнения, рациональную организацию полевых маршрутов, точное соблюдение границ обработки и выделение зон с различающимися производственными характеристиками. В этом случае сокращается не площадь как таковая, а доля площади, обработанной избыточно, повторно или с неоптимальной нормой.

Семена являются примером ресурса, для которого одновременно опасны перерасход и недовнесение. Излишняя норма увеличивает прямые затраты и может формировать чрезмерную густоту; недостаточная – приводит к недоиспользованию площади. Основные источники Lean-потерь: перекрытия при проходах, нестабильная работа высевающего аппарата, ошибки калибровки, расхождение фактической и плановой нормы, потери при загрузке и хранении, возвратные посевные операции.

$$Q_{\text{пер}} = Q_{\text{факт}} - S \times N_{\text{план}} \quad (3.3)$$

$Q_{\text{факт}}$ – фактический расход семян, кг;

S – фактически засеянная площадь, га;

$N_{\text{план}}$ – установленная норма высева, кг/га.

Для экономического анализа перерасход умножают на закупочную или нормативную стоимость единицы семян. Если часть отклонения вызвана осознанной дифференциацией нормы по зонам поля, ее нельзя считать потерей: она должна быть подтверждена картой-заданием.

Для удобрений ключевой риск связан с пространственной неоднородностью почвы и неопределенностью потребности растений. При сплошном внесении одинаковой нормы часть участка может получать ресурс сверх экономически и агрономически обоснованного уровня, другая – недостаточно. В Lean-логике это сочетание перепроизводства и дефекта

дозирования. Поэтому управление удобрениями включает точность калибровки, контроль фактической дозы, снижение перекрытий, своевременную доставку, учет потерь при хранении и, при наличии данных, дифференцированное внесение.

Средства защиты растений имеют дополнительную экологическую составляющую. Повторная обработка из-за пропусков или погодной ошибки увеличивает не только себестоимость, но и химическую нагрузку. Контроль метеоусловий, секционное отключение, автоматическое ведение агрегата, мониторинг очагов и точное соблюдение нормы позволяют снизить долю неоправданных обработок. Здесь экономический и экологический эффекты возникают из одного источника – предотвращения лишнего применения материала.

Горюче-смазочные материалы отражают качество организации почти всех полевых процессов. Их расход зависит от тяговой нагрузки, скорости, состояния техники, глубины обработки, давления в шинах, маршрута, холостого хода и повторных проходов. Поэтому анализ только показателя л/га не раскрывает причины перерасхода. Необходимо разделять технологически обусловленный расход и расход, связанный с потерями. GPS-телематика позволяет выделять холостой ход, непроизводительные переезды и повторное покрытие поля.

$$Q_{\text{ГСМ, экон}} = (q_0 - q_1) \times S \quad (3.4)$$

q_0 – расход топлива до улучшения, л/га;

q_1 – расход топлива после улучшения, л/га;

S – площадь, га.

Стоимостный эффект определяется умножением экономии литров на цену топлива. При комплексной оценке можно дополнительно рассчитать сокращение выбросов парниковых газов, используя официально принятый в конкретной методике коэффициент эмиссии. В учебных расчетах коэффициент должен быть задан в условии, а в реальном проекте – иметь ссылку на нормативный или признанный методический источник.

Вода в орошаемом растениеводстве требует управления не только объемом подачи, но и эффективностью доставки и соответствием фактической потребности растений. Потери формируются при утечках, неравномерности полива, испарении, неправильном времени применения и сверхнормативной подаче. Бережливый подход связывает данные о влажности почвы, погоде и состоянии культуры с режимом полива, а затем оценивает экономию воды и энергии на ее подачу.

Машинное время – один из наиболее дорогих и дефицитных ресурсов в сезон. Его потери включают простои, холостой ход, лишние переезды, ожидание материалов, повторные проходы и работы по устранению предотвратимых неисправностей. Повышение коэффициента использования сменного времени

позволяет увеличить фактическую производительность без приобретения дополнительной техники. Но предельная загрузка оборудования не должна становиться целью: резерв мощности в растениеводстве может быть экономически оправдан страхованием погодного риска.

Таблица 3.2 – Направления бережливого использования ресурсов в растениеводстве

Ресурс	Основные источники потерь	Lean-меры	Экономический результат
Земля	перекрытия, повторная обработка, уплотнение	точные границы, маршрутизация, контролируемое движение	снижение лишней площади обработки и затрат на гектар
Семена	пересев, нестабильная норма, потери загрузки	калибровка, секционный контроль, мониторинг нормы	снижение расхода при сохранении заданной густоты
Удобрения	перекрытия, единая норма при неоднородности, потери хранения	контроль дозы, карты-задания, VRT	снижение стоимости внесения и потерь питательных веществ
СЗР	повторные обработки, перекрытия, несвоевременность	метеоконтроль, секционное отключение, мониторинг очагов	снижение расхода препаратов и риска повторных работ
ГСМ	холостой ход, лишние переезды, повторные проходы	маршрутизация, телематика, оптимизация операций	снижение л/га и машинно-часов
Вода	перелив, утечки, неверный режим	датчики, планирование, точное орошение	снижение м ³ /га и энергии на подачу
Машинное время	ожидание, поломки, несинхронность	TPM, SMED, диспетчеризация, балансировка потока	рост га/смену без пропорционального роста парка

Сокращение себестоимости следует рассчитывать на уровне технологической операции и продукта. Экономия в рублях сама по себе не показывает, улучшился ли процесс, если одновременно изменилась урожайность или площадь. Для сравнения до и после проекта используют затраты на гектар, на тонну продукции и на единицу технологического результата. Например, расход удобрения в рублях/га может увеличиться из-за цены, хотя физическая норма и потери снизились. Поэтому стоимостные и натуральные показатели анализируются совместно.

$$C_{\text{рес}} = \frac{Z_{\text{рес}}}{Q_{\text{вал}}} \quad (3.5)$$

$C_{\text{рес}}$ – себестоимость выбранного ресурса на 1 т продукции;

$Z_{\text{рес}}$ – затраты выбранного ресурса;

$Q_{\text{вал}}$ – валовой сбор продукции, т.

Показатель полезен при межпериодном анализе, но требует осторожности: урожайность зависит от погоды и других факторов, не связанных с Leap-проектом. Для оценки эффекта конкретного улучшения предпочтительнее выделить управляемый фактор – например, площадь перекрытий, расход топлива на непроизводительные переезды или долю потерь при уборке – и рассчитать прямой эффект именно от его изменения.

Экономический эффект может включать предотвращенные затраты. Если благодаря синхронизации уборки и транспорта предприятие не приобретает дополнительный грузовой автомобиль, эффект проявляется не в текущей экономии топлива, а в отсутствии капитальных затрат. Если профилактика снижает риск остановки комбайна в критический период, часть эффекта выражается через предотвращенные потери урожая. Такие эффекты допустимы в проектном расчете, но их предпосылки должны быть прозрачными и проверяемыми.

Ресурсосбережение должно быть связано с качеством результата. В растениеводстве это урожайность, сохранность продукции, содержание влаги и примесей, соответствие стандартам, остаточные количества веществ и другие показатели. Изменение нельзя считать бережливым, если экономия ресурса достигается за счет ухудшения качества или переноса затрат на следующую стадию. Именно поэтому Leap оценивает сквозной поток, а не изолированную экономию одного подразделения.

3.3. Точное земледелие как инструмент сокращения потерь

Точное земледелие представляет собой систему управления пространственной и временной неоднородностью аграрного производства на основе данных. Его Leap-смысл состоит в том, чтобы заменить усредненное воздействие на поле более точным: выполнить требуемое действие в нужном месте, в нужное время и в обоснованном объеме. ФАО относит к технологиям переменной нормы, в частности, точное орошение, дифференцированный посев, внесение азотных удобрений и пестицидов. При этом технология создает эффект только тогда, когда данные включены в управленческий цикл и приводят к изменению операции.

Навигационная основа точного земледелия формируется глобальными спутниковыми навигационными системами – GPS, ГЛОНАСС, Galileo и др. Для полевых работ важна не принадлежность к конкретной системе, а требуемая точность позиционирования и устойчивость сигнала. Автоматическое вождение

снижает зависимость качества прохода от утомления оператора, облегчает работу ночью и позволяет выдерживать параллельность проходов. Более высокая точность достигается при использовании корректирующих сервисов, в том числе RTK.

RTK (Real-Time Kinematic) использует поправки к спутниковому позиционированию и применяется в задачах, где требуется высокая повторяемость траектории. В сельском хозяйстве это автопилотирование, формирование технологических колеи, междурядные операции, картирование и точное размещение воздействий. Европейские проекты по RTK прямо связывают такие сети с использованием карт-заданий, переменной нормы, карт урожайности и автоматического управления техникой.

Первый источник экономии от навигации – сокращение перекрытий. При ручном вождении оператор оставляет некоторый запас, чтобы избежать необработанных полос. На длинных и неправильных контурах суммарная площадь повторной обработки может быть заметной. Автоматизированное ведение и секционное отключение позволяют уменьшить этот запас. Экономический эффект зависит от ширины агрегата, конфигурации поля, исходной дисциплины движения и стоимости материала; поэтому универсальный процент экономии задавать некорректно. В Lean-проекте исходная доля перекрытий измеряется по фактическим трекам.

$$S_{\text{лишн}} = S_{\text{факт.обр}} - S_{\text{поля}} \quad (3.6)$$

$S_{\text{факт.обр}}$ – фактически обработанная площадь, га;

$S_{\text{поля}}$ – площадь поля, га.

$$K_{\text{перекр}} = \frac{S_{\text{лишн}}}{S_{\text{поля}}} \times 100\% \quad (3.7)$$

$S_{\text{лишн}}$ – площадь лишней (повторной) обработки, га;

$S_{\text{поля}}$ – площадь поля, га.

Второе направление – дифференцированное внесение (Variable Rate Technology, VRT). Оно предполагает изменение нормы материала по участкам поля в соответствии с картой-заданием или показаниями датчиков. ФАО определяет VRT как автоматизированное применение материалов с изменяемой нормой и выделяет формы для орошения, посева, азотных удобрений и пестицидов. В Lean-логике VRT направлена на снижение двух противоположных потерь: избыточного внесения там, где ресурс не нужен, и недостаточного – там, где дефицит ограничивает результат.

Карты-задания формируются на основе информации о почве, урожайности, рельефе, дистанционном зондировании, истории поля и агрономических моделях. Здесь возникает важное ограничение: точность технического исполнения не компенсирует слабое качество исходного решения. Если карта неверно определяет норму, RTK лишь очень точно реализует ошибку. Поэтому

цифровой Leap должен включать контроль качества данных, методику формирования зон управления и последующую проверку результата.

Картирование урожайности выполняет функцию обратной связи. Датчики на уборочной технике фиксируют поток продукта, влажность и координаты, после чего формируется пространственная карта результата. Ее нельзя автоматически трактовать как карту плодородия: на урожай влияют погода, рельеф, предшественник, болезни, уплотнение, ошибки посева и множество других факторов. Однако сопоставление карт нескольких лет помогает выявлять устойчивые зоны и формулировать гипотезы для дальнейшей диагностики.

Контроль перекрытий объединяет навигацию, учет уже обработанной площади и автоматическое включение/отключение секций или отдельных рабочих органов. На клиновидных участках и разворотных полосах эта функция позволяет избегать повторного внесения. Экономический эффект рассчитывают по фактически предотвращенной площади повторной обработки и норме материала. Если одновременно сокращаются затраты топлива и времени, эффекты учитываются отдельно, чтобы не допустить двойного счета.

$$\mathcal{E}_{\text{мат}} = S_{\text{предотв}} \times N \times C \quad (3.8)$$

$S_{\text{предотв}}$ – предотвращенная площадь повторной обработки, га;

N – норма внесения, кг/га или л/га;

C – цена единицы материала, руб./кг или руб./л.

Формула проста, но требует доказательства исходной площади перекрытий. Наиболее надежным источником являются геопространственные данные фактических проходов.

Постоянная технологическая колея (controlled traffic farming) строится на повторяемости маршрутов техники по фиксированным полосам. Ее цель – пространственно отделить зоны движения машин от основной площади возделывания, уменьшив распространение уплотнения. ФАО относит контролируемое движение техники наряду с автопилотированием и переменной нормой к решениям точного земледелия. В Leap-контексте это пример стандартизированного маршрута, который одновременно уменьшает вариативность процесса и предотвращает скрытую потерю качества почвы.

Мониторинг посевов может включать спутниковые изображения, БПЛА, наземные сенсоры, метеостанции и визуальные обследования. Их задача – не накопление данных, а раннее обнаружение отклонения. Если снимок позволяет выделить очаг стресса и направить обследование только в проблемную зону, сокращаются лишние обходы и повышается скорость реакции. Если данные не встроены в решение и не приводят к действию, цифровой сервис превращается в новую форму избыточной обработки информации.

Таблица 3.2 – Технологии точного земледелия в системе устранения потерь

Технология	Какая потеря сокращается	Необходимые данные	Основной KPI
Автопилотирование / RTK	перекрытия, пропуски, лишние проходы, утомление оператора	границы поля, линии движения, корректирующий сигнал	доля перекрытий; га/ч; л/га
Секционное отключение	повторное внесение на уже обработанной площади	геопозиция, карта покрытия	предотвращенная площадь повторной обработки
VRT	избыточная или недостаточная норма	карта-задание или сенсорные данные	расход ресурса/га; результат по зонам
Карты урожайности	невыявленная пространственная вариабельность	датчик потока, влажность, координаты	стабильность зон; урожайность по зонам
Controlled traffic	разброс траекторий и уплотнение по всей площади	устойчивые линии движения и совместимость колес	доля площади под постоянными колесами
Дистанционный мониторинг	позднее выявление отклонений и лишние обследования	спутниковые/БПЛА/сенсорные данные	время от отклонения до реакции

Внедрение точного земледелия требует экономического обоснования. Ошибка – сравнивать стоимость оборудования только с экономией одного ресурса за один сезон. Навигационная система может одновременно влиять на семена, удобрения, СЗР, топливо, производительность и качество выполнения работ. С другой стороны, нельзя суммировать потенциальные эффекты без проверки: часть экономии может относиться к одной и той же предотвращенной площади и быть взаимозависимой.

Для инвестиций рассчитываются капитальные затраты, ежегодные эксплуатационные расходы, экономия по ресурсам, изменение производительности, предотвращенные потери и возможный прирост маржинального дохода. На первом этапе достаточно срока окупаемости и ROI; для крупных систем на многолетнем горизонте применяются дисконтированные показатели. Важно провести сценарный расчет при разных площадях загрузки, поскольку стоимость цифровой системы часто распределяется на гектар и чувствительна к масштабу использования.

$$\Xi_{\text{год}} = \sum_i \Xi_i + \Delta\text{МД} - Z_{\text{экспл}} \quad (3.9)$$

$\Xi_{\text{год}}$ – годово́й эффект;

Ξ_i – экономия по i -му ресурсу или статье затрат;

$\Delta\text{МД}$ – дополнительный маржинальный доход;

$Z_{\text{экспл}}$ – дополнительные эксплуатационные расходы;

i – вид ресурса или статьи эффекта.

Цифровая технология становится Lean-инструментом только при трех условиях. Во-первых, должна быть определена конкретная потеря и ее исходный уровень. Во-вторых, система должна изменять фактический процесс, а не только создавать отчетность. В-третьих, после внедрения требуется повторное измерение KPI. Иначе инвестиция оценивается по наличию оборудования, а не по созданной ценности.

В исследованиях и статистике внедрение технологий точного земледелия обычно выше в крупных хозяйствах, где оборудование используется на большей площади и быстрее распределяет фиксированные затраты. Данные USDA ERS также показывают существенную зависимость применения автопилотирования и иных цифровых технологий от масштаба хозяйства. Для российского предприятия этот факт нельзя переносить напрямую в виде нормы, но он указывает на необходимость учитывать площадь загрузки и интенсивность использования при расчете экономической эффективности.

Практические кейсы

Кейс 1. Сокращение перекрытий при посеве с использованием RTK-навигации

Ситуация. Сельскохозяйственная организация проводит посев яровой культуры на площади 3000 га. По данным GPS-треков до внедрения системы автоматического вождения фактически обработанная площадь составила 3150 га, то есть часть поля была пройдена повторно. Норма высева – 210 кг/га, стоимость семян – 42 руб./кг. Расход топлива на посев – 6,5 л/га, цена дизельного топлива в учебном примере – 72 руб./л. После внедрения RTK и секционного контроля фактически обработанная площадь составила 3030 га. Стоимость годового владения системой (амортизация, связь, сервис) – условно 620 тыс. руб.

Определить:

- площадь перекрытий до и после улучшения;
- экономию семян;
- экономию топлива;
- валовой измеримый эффект по двум ресурсам;
- чистый годово́й эффект с учетом стоимости владения системой.

Кейс 2. Синхронизация уборки и транспортировки зерна

Ситуация. На уборке зерновых работают три комбайна. Суммарная технически возможная производительность – 90 т/ч. По хронометражу фактическая производительность составляет 63 т/ч, а 20 % сменного времени комбайны теряют в ожидании транспорта. Стоимость машино-часа одного комбайна в учебном расчете – 7 800 руб. Продолжительность смены – 10 ч, уборочный период – 18 смен. После изменения маршрутов, закрепления транспортных единиц и введения визуальной диспетчеризации ожидание сократилось до 7 % сменного времени. Предположим, что остальные условия не изменились.

Рассчитайте сокращение времени ожидания транспорта за смену и за весь уборочный период, определите количество высвобожденных машино-часов и их стоимостную оценку. Объясните, почему полученный эффект нельзя автоматически считать приростом прибыли, и сделайте вывод о целесообразности покупки дополнительного комбайна.

Задания для самостоятельной работы

Задание 1. Оптимизация маршрута внесения удобрений

На площади 1800 га минеральные удобрения вносятся агрегатом с нормой 160 кг/га. По телематике фактически обработано 1872 га. После изменения маршрутов и настройки секционного отключения предполагается снизить фактическую площадь до 1818 га. Цена удобрения – 31 руб./кг, расход топлива – 4,8 л/га, цена топлива – 72 руб./л. Рассчитайте: исходную и плановую долю перекрытий; предотвращенную площадь; экономию удобрений и топлива; совокупный прямой эффект.

Задание 2. Дифференцированный посев

Поле площадью 1200 га разделено по данным многолетней урожайности на три зоны: высокая продуктивность – 360 га, средняя – 600 га, низкая – 240 га. Традиционная норма высева составляет 220 кг/га. Карта-задание предусматривает соответственно 235, 220 и 190 кг/га. Цена семян – 48 руб./кг. Рассчитайте общий расход семян при единой и дифференцированной норме, изменение затрат и средневзвешенную норму. Объясните, почему уменьшение расхода само по себе не является достаточным доказательством эффекта VRT.

Задание 3. Анализ потерь машинного времени при посеве

За 10-часовую смену агрегат фактически сеет 6,1 ч; развороты и нормативная загрузка занимают 1,5 ч; ожидание семян – 0,9 ч; устранение мелких повторяющихся неисправностей – 0,7 ч; лишние переезды – 0,8 ч. Производительность в продуктивное время – 12 га/ч. После проекта

предполагается сократить ожидание до 0,3 ч, неисправности до 0,3 ч и лишние переезды до 0,4 ч. Рассчитайте коэффициент продуктивного времени до и после проекта и возможный прирост сменной выработки при неизменной производительности рабочего хода.

Задание 4. Оценка экономии воды при точном орошении

Орошаемая площадь – 500 га. Базовый объем подачи воды – 3200 м³/га за сезон. По данным мониторинга 12 % объема связано с избыточным поливом отдельных зон. После внедрения датчиков влажности и зонального управления долю избыточной подачи планируется снизить до 4 %. Стоимость подачи 1 м³ воды с учетом энергии – 6,4 руб. Рассчитайте сезонную экономию воды и денежных затрат. Дополнительно предложите два экологических KPI, которые целесообразно контролировать наряду с экономическим эффектом.

Задание 5. Карта будущего состояния уборочного потока

Предприятие убирает 9000 т зерна. Комбайны обеспечивают фактическую подачу 75 т/ч, транспорт – 62 т/ч, сушильный комплекс – 68 т/ч. Водители транспорта тратят в среднем 18 минут на ожидание разгрузки и 12 минут на оформление и получение указаний. Постройте упрощенную карту текущего состояния, определите узкое место, предложите не менее трех мероприятий для будущего состояния. Обоснуйте, какое оборудование не следует приобретать до устранения организационных потерь.

Вопросы для самопроверки

1. Почему технологический поток в растениеводстве нельзя оптимизировать только по производительности отдельной машины?
2. Какие виды времени следует выделять при хронометраже полевой операции и какие из них относятся к потерям?
3. Как агротехническое окно изменяет экономическую оценку простоев техники?
4. Какие причины приводят к повторным операциям и перекрытиям в растениеводстве?
5. Почему минимальная норма расхода семян, удобрений или СЗР не всегда соответствует принципам бережливого производства?
6. Как определить узкое место в связке «уборка – транспортировка – сушка»?
7. Какие источники экономии формируют GPS/ГЛОНАСС-навигация и RTK в полевых работах?
8. В чем состоит управленческая логика дифференцированного внесения и какие данные необходимы для VRT?

9. Почему точность исполнения карты-задания не гарантирует правильности агрономического решения?

10. Какие показатели следует использовать для оценки экономического эффекта точного земледелия и как избежать двойного счета?

Выводы по главе

Бережливое растениеводство строится вокруг сквозного технологического потока, ограниченного биологическими процессами и агротехническими сроками. Это меняет приоритеты управления: максимальная загрузка отдельной машины уступает место синхронизации смежных операций, сокращению ожиданий и повторных проходов, предупреждению дефектов непосредственно в процессе и сохранению управляемого резерва на погодные риски.

Ресурсосбережение не сводится к сокращению норм. Экономически оправданным является уменьшение только тех затрат земли, семян, удобрений, СЗР, топлива, воды и машинного времени, которые не создают необходимого агротехнологического результата. Поэтому каждый проект должен одновременно контролировать натуральную экономию, себестоимость, качество выполнения операции и результат культуры.

Точное земледелие усиливает Leap, когда цифровая технология связана с конкретной потерей и измеримым KPI. Навигация и RTK уменьшают вариативность траекторий; секционное отключение – повторную обработку; VRT – избыточное и недостаточное внесение; картирование и мониторинг сокращают время обнаружения отклонений. Оборудование само по себе не создает бережливого процесса. Эффект возникает после того, как данные меняют операцию и подтверждаются повторным измерением результата.

ГЛАВА 4. БЕРЕЖЛИВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

4.1. Поток создания ценности и потери в животноводческих комплексах

Поток создания ценности в животноводстве нельзя свести к перемещению конечной продукции от фермы к покупателю. На уровне предприятия он включает совокупность действий, обеспечивающих преобразование кормов, труда, энергии, воды, ветеринарных и информационных ресурсов в молоко, прирост живой массы, яйца, молодняк или иную продукцию. В логике Lean в поток включаются как операции, создающие ценность, так и необходимые и избыточные действия. Задача диагностики состоит не в механическом сокращении числа операций, а в выявлении тех участков, где ресурс потребляется, но не увеличивает ценность продукта и не обеспечивает обязательное технологическое или биологическое условие.

Для молочного комплекса такими потоками одновременно являются движение кормов от хранилища до кормового стола, движение коров между секциями и доильной зоной, движение молока от вымени до охлаждающей емкости, перемещение персонала, удаление навоза, доставка расходных материалов и поток управленческой информации. Между ними существует тесная зависимость. Например, задержка приготовления кормосмеси меняет время кормления; это влияет на поведение животных, загруженность проходов и очередность технологических действий. Сбой доильного оборудования создает очередь животных, увеличивает продолжительность нахождения вне секции, вызывает перераспределение труда и может нарушить график санитарной обработки. Изолированный анализ одной операции поэтому часто приводит к локальной оптимизации, не улучшающей систему в целом.

В животноводстве особенно полезно различать четыре типа потока: материальный, биологический, трудовой и информационный. Материальный поток охватывает корма, воду, подстилку, ветеринарные препараты, молоко, навоз и другие физические объекты. Биологический поток описывает движение животных между возрастными, физиологическими и производственными группами. Трудовой поток показывает маршруты работников и последовательность операций. Информационный поток включает данные о состоянии стада, рационах, надоях, воспроизводстве, заболеваниях, техническом состоянии оборудования и фактическом выполнении заданий. Для бережливой системы критично, чтобы эти потоки были синхронизированы.

Картирование потока начинают с границ процесса и результата, который получает внутренний или внешний потребитель. Например, при диагностике доения граница может проходить от выхода группы животных из секции до возвращения после доения; при кормлении – от выдачи задания на рацион до фактического распределения кормосмеси и контроля остатков. Далее фиксируют фактическую последовательность действий, время выполнения, ожидания,

расстояния, объемы запасов, число работников, причины отклонений и точки передачи информации. Такой подход соответствует логике VSM: сначала описывается текущее состояние материального и информационного потока, затем формируется целевое будущее состояние.

Важное отличие животноводства от промышленной линии состоит в том, что животное нельзя рассматривать как заготовку, которую необходимо перемещать максимально быстро. Часть времени, которое с позиции промышленного потока могло бы выглядеть ожиданием, физиологически необходима: отдых, потребление корма и воды, восстановление после ветеринарных процедур, соблюдение интервалов между технологическими воздействиями. Следовательно, критерий Lean здесь формулируется иначе: сокращается не вся продолжительность процесса, а именно управленчески обусловленное время, не требуемое биологией и технологическим регламентом.

Диагностика движения животных дает значительный материал для анализа. Частые развороты, встречные маршруты, узкие проходы, ожидание перед воротами, неодинаковая пропускная способность секций и перегонов увеличивают продолжительность операций и потребность в труде. Диаграмма спагетти позволяет нанести реальные маршруты на план фермы и измерить длину перемещений. При этом оцениваются не только метры пути персонала, но и число перемещений животных, количество точек контакта и вероятность повторного воздействия на группу.

Аналогичным образом анализируется движение кормов. Если силосная траншея, склад концентратов, зона приготовления кормосмеси и производственные корпуса размещены без учета последовательности потребления, каждое кормление содержит лишний транспорт. Потеря проявляется в расходе топлива, машинном времени, износе техники и рабочем времени оператора. На крупном комплексе несколько лишних минут на один рейс в течение года превращаются в сотни машино-часов. Поэтому планировка и маршрутизация являются полноценными Lean-объектами, а не только вопросом строительной организации.

Поток информации в животноводстве часто имеет более сильное влияние на потери, чем физическое расстояние. Если оператор замечает снижение потребления корма, но информация попадает к зоотехнику только в конце смены; если данные о неисправности доильного поста передаются устно; если ветеринарная служба и служба воспроизводства используют несогласованные списки животных, возникает ожидание решения и риск повторных операций. При картировании необходимо фиксировать не только источник данных, но и время их возникновения, способ передачи, ответственного за реакцию и допустимый интервал до действия.



Рисунок 4.1 – Основные потоки животноводческого комплекса и объекты Lean-диагностики

Для систематизации выявленных проблем целесообразно использовать классические категории потерь, адаптируя их к животноводству. Перепроизводство в прямом смысле здесь встречается реже, чем в промышленности, однако его аналогом может быть приготовление кормосмеси сверх потребности с последующей утилизацией, избыточная подготовка расходных материалов или получение объема промежуточного продукта, который не может быть своевременно обработан. Запасы проявляются как сверхнормативные корма, препараты, моющие средства и запасные части. Ожидание – простаивание работников, животных и техники. Лишняя транспортировка и движения особенно заметны на территориально разнесенных фермах. Дефекты включают потери продукции, нарушения качества, ошибки идентификации, дозирования или учета. Избыточная обработка возникает при повторных мойках, повторном вводе данных, лишних контрольных операциях. Неиспользованный потенциал работников проявляется, когда сотрудники постоянно устраняют симптомы проблем, но не вовлечены в поиск причин.

Отдельного внимания требуют простые оборудования. На ферме отказ оборудования часто затрагивает не отдельную единицу продукции, а весь биологический ритм. Неисправность кормораздатчика может сдвинуть кормление нескольких групп; сбой вакуумной системы – ограничить пропускную способность доильной зоны; остановка системы навозоудаления – создать

санитарные и организационные риски. Поэтому простой следует измерять не только в часах ремонта, но и через число зависимых операций и величину последующего отклонения от графика.

Поиск узкого места строится на сравнении фактической пропускной способности связанных операций. Если доильный зал способен обслуживать 180 коров в час, а сортировочный коридор и подготовка групп обеспечивают только 145 коров в час, именно преддоильное движение ограничивает поток. На кормовом участке бутылочным горлышком может быть загрузка компонентов, смешивание или раздача. Важно оценивать устойчивую, а не паспортную производительность: максимальная скорость оборудования, достигаемая в идеальных условиях, мало полезна для планирования, если она регулярно падает из-за мойки, переналадки, ожидания сырья или технических остановок.

$$P_{\text{потока}} = \min(P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (4.1)$$

$P_1 \dots P_n$ – фактическая производительность взаимосвязанных стадий процесса;

n – число стадий процесса.

Принцип показывает, почему ускорение операции, не являющейся ограничением, не обязательно увеличивает выпуск всего потока.



Рисунок 4.2 – Классические виды потерь и их проявление в животноводстве

Хронометраж животноводческого процесса должен фиксировать структуру времени. Для смены оператора можно выделить непосредственную работу с животными или оборудованием, технологически необходимую подготовку, перемещение, ожидание, устранение неисправностей, поиск материалов и информационные операции. Если объединить все категории в одно среднее время, причина отклонений теряется. Практически полезнее вести наблюдение по нескольким сменам, включая периоды нормальной работы и дни с характерными сбоями.

Синхронизация потоков не означает жесткой одинаковости каждого цикла. Биологические процессы вариативны, поэтому бережливое управление использует стандарт как базовое состояние и одновременно предусматривает правила реакции на отклонения. Если определенная группа требует дополнительного ветеринарного контроля, стандарт должен задавать способ вывода животных из основного потока так, чтобы исключение не нарушало всю технологическую цепь. Именно способность быстро отделить нормальный поток от исключения отличает управляемую систему от системы, в которой любое отклонение вызывает хаотическую перестройку смены.

Итогом диагностики является не список «лишних действий», а карта причинно-следственных связей. Для каждого существенного отклонения устанавливают: какой ресурс теряется; где возникает потеря; что является первопричиной; какой показатель позволит подтвердить улучшение; какие ограничения по технологии и благополучию животных нельзя нарушать. Такой формат подготавливает переход от наблюдения к стандартизации и постоянному совершенствованию.

4.2. Бережливое управление кормлением, содержанием и воспроизводством стада

Кормление является одной из наиболее ресурсоемких функций животноводческого предприятия, поэтому даже небольшая доля потерь кормов имеет заметный экономический эффект в годовом выражении. Однако Lean-подход не сводит задачу к сокращению нормы выдачи. Рацион определяется физиологической потребностью и системой кормления; бережливость начинается там, где устраняются потери до момента фактического потребления: порча при хранении, просыпи при загрузке и транспортировке, ошибки дозирования, чрезмерные остатки на кормовом столе, повторное перемешивание, запоздалая раздача и избыточные запасы компонентов.

В международных рекомендациях по кормовой отрасли безопасное и адекватное кормление связывается не только с качеством продукции, но и со снижением издержек, стабильностью рациона, здоровьем животных и экологической нагрузкой. Для Lean это принципиально: экономия ресурса допустима лишь тогда, когда сохраняется технологическая функция. Снижение

расхода кормов за счет недокорма не является устранением потери; напротив, оно переносит затраты в снижение продуктивности, воспроизводства и здоровья.

Потери кормов целесообразно измерять по этапам. На хранении учитывают уменьшение массы и качества, порчу, самосогревание и невозможность использовать часть запаса. При приготовлении – просыпи, неточность загрузки, остатки в оборудовании. При раздаче – отклонения от заданного объема и неравномерность распределения. На кормовом столе – несъеденные остатки. Такое разложение позволяет избежать ситуации, когда суммарная разница между приходом и потреблением известна, но место возникновения потери неизвестно.

Для количественной оценки удобно использовать коэффициент потерь кормового ресурса:

$$K_{\text{пот}} = \frac{Q_{\text{поступ}} - Q_{\text{полезн}}}{Q_{\text{поступ}}} \times 100\% \quad (4.2)$$

$K_{\text{пот}}$ – коэффициент потерь кормового ресурса;

$Q_{\text{поступ}}$ – количество корма, поступившее в анализируемый процесс;

$Q_{\text{полезн}}$ – количество ресурса, дошедшее до установленной точки полезного использования.

Управление запасами кормов отличается от классического складского Kanban тем, что хозяйству необходимо учитывать сезонность заготовки, биологическую стабильность кормов, доступность поставщиков и страховой запас. Поэтому задача состоит не в минимизации запасов как таковых, а в обосновании их структуры. Для закупаемых компонентов применимы уровни min/max, точки заказа и визуальный контроль. Для материалов с ограниченным сроком использования – FEFO, когда приоритет отдается партии с более ранним окончанием допустимого срока. Для силоса, сенажа и сена важны отдельные правила вскрытия, отбора и защиты фронта хранения.

Стандарт кормления должен фиксировать параметры, которые реально влияют на повторяемость процесса: последовательность загрузки компонентов, допустимое отклонение массы, продолжительность смешивания, маршрут раздачи, время выдачи, порядок контроля остатков и действия при отклонении. Слишком общий SOP вида «приготовить кормосмесь согласно рациону» не стандартизирует работу. С другой стороны, избыточная детализация, не связанная с риском, превращает стандарт в формальный документ. Lean-стандарт описывает критические условия выполнения и делает отклонение видимым.

Особое значение имеет принцип качества в процессе. Ошибка дозирования, обнаруженная после раздачи всему поголовью, уже требует сложной коррекции. Поэтому контроль лучше размещать ближе к источнику ошибки: идентификация компонента, подтверждение массы, блокировка загрузки не по рецепту, визуальный сигнал отклонения. Эти решения относятся к roka-yoke – предотвращению или раннему обнаружению ошибки. В цифровой системе роль

рока-уоке может выполнять сканирование партии и автоматическая проверка рецептуры.

Содержание животных также содержит множество повторяющихся операций: подстилка, очистка проходов, поение, перегруппировка, ветеринарный осмотр, обработка копыт, перемещение в родильное отделение и обратно. Потери часто возникают на границах ответственности: животное нужно перевести, но информация еще не передана; группа сформирована, но место не готово; сотрудник пришел на обработку, но животное невозможно быстро идентифицировать. Именно поэтому стандартизация должна охватывать не отдельное действие работника, а весь межфункциональный процесс.

В воспроизводстве ценность создается не самим фактом регистрации события, а своевременным управленческим действием. Информация об охоте, осеменении, результате диагностики стельности и планируемом отеле должна переводиться в конкретный маршрут решения. Запоздывание сигнала – информационная потеря, которая в животноводстве может иметь экономическое продолжение в виде увеличения непроизводительного периода. Современные системы мониторинга активности позволяют формировать автоматизированные сигналы о поведении животных, однако качество решения зависит от того, насколько определено, кто и в какой срок должен проверить сигнал и что делать при его подтверждении.

Производительность труда в животноводстве следует оценивать не только отношением продукции к численности работников. Для Lean важнее раскрыть структуру времени: какая доля смены уходит на полезную работу, перемещения, поиск, ожидание, повторный ввод данных и устранение неисправностей. Сокращение лишних действий высвобождает время для наблюдения за животными, профилактики, анализа данных и улучшений. Это принципиально отличается от механического сокращения штата: бережливая система использует высвобожденную производительность для повышения надежности и качества процесса.

Управление отклонениями удобно строить по принципу «сигнал – проверка – действие – подтверждение». Если остатки корма превышают установленный диапазон, оператор не просто уменьшает следующую выдачу, а фиксирует отклонение и проверяет возможные причины: численность группы, фактическую сухую массу компонентов, состояние здоровья, изменение погоды, качество смешивания и время предыдущей раздачи. Это защищает систему от локальных решений, которые маскируют первопричину.

Стандартизация не отменяет профессиональное решение специалиста. Рацион, ветеринарные назначения и воспроизводственные решения остаются областью зоотехнической и ветеринарной компетенции. Lean задает архитектуру процесса: данные должны быть доступны, отклонения – видимы, решения – своевременны, а повторяющиеся действия – воспроизводимы. Там, где требуется

профессиональная вариативность, стандарт описывает критерии эскалации и границы полномочий.

Для оценки экономического эффекта сокращения кормовых потерь сначала рассчитывают физическую экономию, затем переводят ее в стоимость. Если снижение потерь составило Δq килограммов сухого вещества в сутки, а стоимость единицы ресурса – C , годовой прямой эффект равен произведению экономии, цены и числа дней работы. При этом в проекте необходимо отдельно учитывать затраты на улучшение: настройку весового оборудования, ремонт хранилищ, обучение, программное обеспечение или изменение маршрутов.

$$\text{Э}_{\text{пр}} = \Delta q \times C \times D - Z_{\text{проекта}} \quad (4.3)$$

$\text{Э}_{\text{пр}}$ – прямой экономический эффект;

Δq – сокращение потерь ресурса в сутки;

C – стоимость единицы ресурса;

D – число дней;

$Z_{\text{проекта}}$ – дополнительные затраты на реализацию улучшения.

Экологический эффект лучше сначала фиксировать в натуральных единицах: тонны предотвращенных потерь кормов, сокращение машино-часов, литров топлива, кубометров воды или киловатт-часов. Перевод в выбросы CO_2 -эквивалента допустим только при наличии обоснованного коэффициента для конкретного ресурса и границы расчета. Такой подход предотвращает формальное «озеленение» показателей и соответствует логике ESG: исходные данные и методика должны быть проверяемыми.

В результате бережливое управление кормлением, содержанием и воспроизводством формирует не набор разрозненных мероприятий, а систему контроля повторяемости. Ключевой критерий зрелости – способность быстро увидеть отклонение, понять его источник и восстановить стандартный процесс без накопления скрытых потерь.

4.3. Автоматизация и контроль эффективности животноводческих процессов

Автоматизация животноводства расширяет возможности Lean, поскольку переводит часть наблюдений из периодических в непрерывные. Автоматические доильные системы, электронная идентификация, весовые устройства, датчики активности и жвачки, системы контроля температуры, камеры, автоматические кормораздатчики и программные платформы создают цифровой след процесса. Однако наличие данных само по себе не устраняет потери. Если сигнал не имеет ответственного, срока реакции и правила действия, предприятие получает новый информационный запас – массив уведомлений, который требует внимания, но не улучшает поток.

Precision Livestock Farming обычно понимается как сочетание датчиков, алгоритмов, интерфейсов и приложений, используемых для управления животноводством. В молочном производстве данные могут поступать от доильной системы и носимых устройств: фиксируются надой, отдельные характеристики молока, активность, жвачка, температура и другие параметры. Для бережливого управления ценность таких технологий заключается в уменьшении запаздывания между возникновением отклонения и управленческой реакцией.

Электронная идентификация является базовым элементом цифрового потока. Она связывает событие с конкретным животным и позволяет избежать повторного ручного ввода данных. При правильной интеграции идентификатор сопровождает животное в системе кормления, доения, сортировки, воспроизводства и ветеринарного учета. Lean-эффект проявляется в сокращении ошибок идентификации, поиске информации и времени на сверку списков. Если же системы не интегрированы и один и тот же номер приходится вводить в несколько программ, цифровизация воспроизводит избыточную обработку в электронном виде.

Автоматизированное кормление может включать дозирование компонентов, смешивание, доставку и подталкивание корма. Его преимущество для потока – высокая повторяемость и возможность точной регистрации фактического выполнения. Но автоматический цикл также требует стандарта: контроль загрузки, состояние весов, правила очистки, профилактическое обслуживание и реакция на расхождение факта с заданием. В противном случае ошибка датчика массы или механизма дозирования будет многократно воспроизводиться, то есть автоматизация увеличит скорость создания дефекта.

Автоматические системы доения меняют не только операцию извлечения молока, но и архитектуру движения животных и труда. В таких системах коровы посещают доильный пост индивидуально, а оборудование идентифицирует животное, выполняет технологический цикл и регистрирует данные. Международный стандарт ISO 20966:2007 устанавливает требования к конструкции автоматических доильных установок, включая аспекты безопасности и гигиены. Для хозяйства это означает, что оценка проекта должна учитывать не только экономию ручного труда, но и поток животных, доступность оборудования, режим обслуживания, качество данных и готовность персонала работать с исключениями.

В автоматизированной системе меняется роль работника: сокращается доля рутинной операции, но возрастает значение мониторинга, обслуживания, анализа исключений и реакции на сигналы. Поэтому считать экономический результат только через «замещение людей роботами» методически неверно. Необходимо сравнивать полную структуру затрат до и после внедрения: фонд оплаты труда,

сервис, расходные материалы, программные лицензии, электроэнергию, амортизацию, простой и возможные изменения качества процесса.

Датчики активности и поведения полезны для раннего обнаружения отклонений, однако любой алгоритм имеет ограничения. Научные обзоры отмечают необходимость валидации коммерческих устройств и корректной интерпретации их показателей. С точки зрения Lean цифровой сигнал следует воспринимать как триггер стандартизированного процесса, а не как окончательный диагноз. Например, сигнал о снижении активности переводится в очередь проверки; специалист оценивает животное и принимает решение в рамках своей компетенции.

Мониторинг технического состояния оборудования является еще одной областью цифрового Lean. Счетчики наработки, вибрационные датчики, температура подшипников, контроль вакуума, давления и электропотребления позволяют перейти от реакции на отказ к техническому обслуживанию по состоянию. Предиктивный подход особенно ценен для узлов, отказ которых блокирует весь поток. Но прогнозирование имеет смысл только при наличии базовой дисциплины обслуживания: перечня критических узлов, регламентов, истории отказов и закрытия работ.

Таблица 4.1 – Цифровые технологии животноводства в логике сокращения потерь

Технология	Получаемые данные	Какая потеря сокращается	Условие Lean-эффекта
RFID/электронная идентификация	Идентификатор и история животного	Ошибки, поиск, повторный ввод	Единый справочник и интеграция систем
Датчики активности/жвачки	Поведение и отклонения от индивидуального профиля	Запаздывание реакции, пропущенные события	Порог сигнала, ответственный и срок проверки
Автоматическое доение	Надой, параметры цикла, посещения, технические события	Рутинный труд, ожидание, часть ошибок учета	Управление движением животных и исключениями
Автоматическое кормление	Факт загрузки, масса, время, маршрут	Неточность дозирования, лишние рейсы, ожидание	Калибровка, стандарт рецептуры и обслуживания
Камеры/машинное зрение	Изображения и события поведения	Позднее обнаружение отдельных отклонений	Проверенная модель и процедура подтверждения
Мониторинг оборудования	Наработка, температура, вибрация, давление, аварии	Аварийный простой, внеплановый ремонт	Критичность узлов, пороги и план ТО

Для оценки надежности оборудования в животноводстве применим показатель ОЕЕ – общая эффективность оборудования. Он объединяет доступность, производительность и качество. Важно использовать его только для технического процесса, а не переносить механически на животное. Для доильной установки доступность отражает долю времени, когда система работоспособна в запланированном периоде; производительность – соотношение фактического и нормативного темпа процесса; качество – долю результата, соответствующего установленным требованиям процесса.

$$ОЕЕ = A \times P \times Q \times 100\% \quad (4.4)$$

ОЕЕ – общая эффективность оборудования;

A – доступность оборудования;

P – относительная производительность;

Q – коэффициент качества.

Преимущество ОЕЕ состоит в том, что одинаковое итоговое значение может иметь разные причины. Низкая доступность требует анализа аварийных остановок и обслуживания; низкая производительность – микропростоев и снижения темпа; низкое качество – дефектов процесса. Это предотвращает универсальные решения вида «купить более мощное оборудование» там, где причина находится в обслуживании или организации работы.

ТРМ в животноводстве строится вокруг предупреждения отказов, базового ухода и вовлечения операторов в раннее обнаружение ненормального состояния. Оператор не заменяет сервисного специалиста, но может выполнять безопасные регламентированные действия: осмотр, очистку, контроль очевидных утечек, индикацию отклонения и своевременное сообщение. Для доильного оборудования особенно важны периодические проверки; ISO 6690:2007 применяется к механическим испытаниям доильных установок и допускает периодические проверки эффективности их работы.

Предиктивное обслуживание дополняет ТРМ, но не заменяет его. История показывает, что авария редко возникает только из-за отсутствия сложного алгоритма: часто ей предшествуют неустраненные малые отклонения, несоблюдение регламента или отсутствие запасной части. Поэтому цифровой мониторинг необходимо встраивать в цикл PDCA: сигнал → проверка → корректирующее действие → оценка результата → обновление стандарта.

Производственные данные следует организовывать как систему уровней. Оператору нужны несколько показателей, позволяющих управлять текущей сменой; руководителю участка – тренды потерь и причины отклонений; менеджменту – показатели результата и экономического эффекта. Если все пользователи получают одинаковую панель из десятков индикаторов, визуальное управление теряет смысл. Хорошая панель не показывает максимум доступных данных, а делает отклонение заметным.

Критичным становится качество данных. Ошибка идентификатора, пропущенное значение, некалиброванный датчик или изменение алгоритма могут создавать ложный сигнал. Исследования данных сенсоров молочного стада отдельно рассматривают проблему очистки данных и их пригодности для поддержки решений. Поэтому в стандарт цифрового процесса необходимо включать проверку полноты данных, правила работы при отказе связи и разграничение автоматического сигнала и подтвержденного события.

Экономическая оценка автоматизации должна связываться с конкретной потерей. Для каждого решения формулируют базовый показатель: человеко-часы ручной операции, время простоя, доля ошибок дозирования, время реакции на сигнал, количество повторных вводов или расход ресурса. Затем измеряют изменение после внедрения. Если система внедрена без базовой линии, доказать полученный эффект практически невозможно.

В результате цифровая зрелость животноводческого комплекса проявляется не количеством датчиков, а скоростью и качеством управленческого цикла. Данные должны сокращать время обнаружения отклонения, облегчать поиск причины, поддерживать стандартную реакцию и формировать основу для следующего улучшения. Именно в таком качестве автоматизация становится частью бережливого управления.

Практические кейсы

Кейс 1. Сокращение потерь кормов на молочном комплексе

Условие. На молочном комплексе содержится 800 коров. Средняя выдача сухого вещества кормосмеси составляет 20,5 кг на голову в сутки. По результатам баланса кормового потока установлено, что суммарные потери между складом и фактическим потреблением составляют 7 % от выдаваемого объема. После анализа маршрутов, ремонта зоны загрузки, калибровки весов, стандартизации приготовления и ежедневного контроля остатков предприятие планирует снизить потери до 4 %. Средняя расчетная стоимость 1 кг сухого вещества – 17 руб. Все данные учебные.

Требуется определить физическое сокращение потерь и прямой годовой экономический эффект без учета инвестиционных затрат.

Кейс 2. Повышение надежности доильного оборудования на основе TPM и ОЕЕ

Условие. Доильный участок имеет запланированное время работы 18 часов в сутки, 365 дней в году. До внедрения программы TPM коэффициент доступности оборудования составлял 0,88, относительная производительность – 0,92, коэффициент качества – 0,985. После введения стандартов ежедневного осмотра, планового обслуживания критических узлов, визуального учета

микропростоев и анализа причин отказов показатели составили соответственно 0,95; 0,96 и 0,99. Для учебной оценки примем стоимость одного часа потерянного производственного времени 1800 руб.

Задание. Рассчитайте ОЕЕ до и после внедрения TPM, определите прирост эффективного производственного времени за год и его стоимостную оценку. Сделайте вывод о влиянии TPM на надежность и эффективность доильного оборудования.

Задания для самостоятельной работы

Задания рекомендуется выполнять в Excel. В расчетной таблице целесообразно разделять исходные данные, промежуточные показатели и итоговые результаты. Формулы должны ссылаться на ячейки с исходными данными, а не содержать числа внутри формулы. Для каждого задания студент должен указать: 1) какая потеря диагностируется; 2) какая мера предлагается; 3) какой физический ресурс экономится; 4) как рассчитывается экономический эффект; 5) какие ограничения не позволяют механически максимизировать экономию. Если данных недостаточно для расчета экологического эффекта, результат фиксируется в натуральных единицах без использования неподтвержденных коэффициентов.

Задание 1. Оценка кормовых потерь

На комплексе 1 200 коров средняя выдача сухого вещества составляет 22 кг/гол. в сутки. Текущая доля потерь – 6,5 %, целевая после улучшения – 4,0 %. Стоимость сухого вещества – 19 руб./кг. Рассчитайте годовой объем ресурса, потери до и после проекта, физическую экономию и прямой годовой эффект. Постройте диаграмму структуры потерь и сформулируйте не менее трех возможных первопричин.

Задание 2. Диаграмма спагетти для работы оператора

По наблюдению оператор проходит 2,3 км за смену по маршрутам «доильная зона – склад расходных материалов – моечная – рабочее место». После переноса часто используемого инвентаря и организации точки 5S маршрут сокращается до 1,4 км. Работают две смены, 330 дней в году. Средняя скорость ходьбы – 4,5 км/ч, стоимость часа рабочего времени – 480 руб. Рассчитайте высвобождаемое время и условную стоимость сокращенных перемещений. Объясните, почему полученную сумму нельзя автоматически считать экономией фонда оплаты труда.

Задание 3. Управление воспроизводственными сигналами

За месяц система мониторинга сформировала 186 сигналов, требующих проверки специалистом. 142 были проверены в течение установленного срока 4

часа, 28 – позже, 16 остались без зарегистрированного результата. Постройте поток «сигнал – проверка – решение – регистрация». Рассчитайте долю сигналов, обработанных в срок, и долю незакрытых сигналов. Предложите визуальное правило эскалации и два KPI, которые позволят контролировать процесс без оценки биологической результативности алгоритма.

Задание 4. Сокращение аварийных простоев кормосмесителя

До проекта кормосмеситель имел 14 аварийных отказов в год со средней продолжительностью 4,5 часа. После внедрения профилактического осмотра и мониторинга критических узлов прогнозируется 8 отказов по 2 часа. Стоимость часа простоя с учетом дополнительной работы техники и персонала – 5 200 руб. Дополнительные ежегодные расходы на мониторинг и обслуживание составят 135 000 руб. Определите сокращение часов простоя, валовой и чистый экономический эффект.

Задание 5. Предварительная оценка автоматизации доения

При существующей технологии на рутинных операциях доения занято 6 эквивалентов полной занятости. После внедрения автоматизированной системы потребность в рутинном труде оценивается в 3,5 эквивалента, однако возрастают расходы на сервис и программное обеспечение на 1,1 млн руб. в год. Полная годовая стоимость одного эквивалента занятости – 920 тыс. руб. Инвестиции – 18 млн руб. Определите расчетное годовое снижение затрат и простой срок окупаемости только по заданным компонентам. Затем перечислите не менее пяти факторов, которые необходимо включить в полноценное инвестиционное обоснование.

Вопросы для самопроверки

1. Почему поток создания ценности в животноводстве необходимо рассматривать одновременно как материальный, биологический, трудовой и информационный поток?
2. Какие виды времени нельзя автоматически относить к потерям при анализе животноводческого процесса?
3. Как проявляются классические виды потерь Lean в кормлении, доении и движении животных?
4. Почему сокращение нормы кормления само по себе не является примером бережливого управления?
5. Какие элементы должен содержать рабочий стандарт приготовления и раздачи кормосмеси?
6. В чем различие между автоматическим сигналом датчика и управленческим решением?

7. Как автоматизированное доение меняет поток труда и информации на молочном комплексе?

8. Из каких компонентов состоит ОЕЕ и для каких объектов животноводческого комплекса целесообразно применять этот показатель?

9. Как связаны ТРМ, предиктивное обслуживание и сокращение простоев критического оборудования?

10. Почему эффективность цифровизации следует измерять через изменение конкретной потери, а не количеством установленных датчиков и систем?

Выводы по главе

Животноводческий комплекс представляет собой систему взаимозависимых потоков. Локальное ускорение отдельной операции не гарантирует улучшения результата, если ограничение находится в другом звене или если нарушается биологически необходимый режим. Поэтому Lean-диагностика начинается с наблюдения фактического процесса, картирования движения кормов, животных, персонала и информации и поиска причин ожиданий, лишних перемещений, запасов, дефектов и простоев.

Наибольший потенциал ресурсосбережения связан с управлением кормовыми потерями, стандартизацией повторяющихся операций и быстрым реагированием на отклонения. Бережливость не означает сокращение технологически обоснованной нормы. Экономия возникает за счет предотвращения порчи, просыпей, ошибок дозирования, избыточных рейсов, повторных действий и запаздывающих решений.

Автоматизация усиливает возможности Lean, если цифровые данные встроены в управленческий цикл. Электронная идентификация, датчики, автоматические системы кормления и доения и мониторинг оборудования должны сокращать время обнаружения и реакции, повышать повторяемость процесса и предупреждать потери. Если процесс не стандартизирован, автоматизация способна лишь быстрее воспроизводить ошибку.

Экономическую оценку улучшений целесообразно строить от физической потери: килограммов корма, часов простоя, километров перемещений, человеко-часов или объема утраченной продукции. После подтверждения физического результата он переводится в стоимостные показатели с учетом затрат на проект. Такая последовательность обеспечивает проверяемость эффекта и создает основу для дальнейшей ESG-оценки ресурсной эффективности.

ГЛАВА 5. БЕРЕЖЛИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫМИ ПОТОКАМИ, ХРАНЕНИЕМ И АГРОЛОГИСТИКОЙ

5.1. Управление материальными потоками и запасами в аграрной организации

Материальный поток аграрной организации формируется значительно раньше выхода готовой продукции. Для растениеводства он начинается с семян, удобрений, средств защиты растений, топлива, запасных частей и упаковки; для животноводства – с кормов, ветеринарных препаратов, подстилки и расходных материалов. Поток сопровождают документы, заказы, прогнозы потребности, лимиты, лабораторные результаты и данные о фактическом расходе. Если материальная и информационная части процесса не синхронизированы, предприятие компенсирует неопределенность увеличением запасов. В результате склад становится не только местом хранения, но и местом накопления проблем: неточного планирования, нестабильных поставок, различий между учетными и фактическими остатками, медленного согласования закупки.

С позиции Lean закупка не считается эффективной только потому, что ресурс приобретен по минимальной цене. Для производственного потока важна совокупная стоимость обеспечения потребности: цена закупки, транспорт, разгрузка, контроль качества, хранение, потери, стоимость капитала, риск дефицита, срочные закупки и возможный ущерб от срыва технологического срока. Более дешевое удобрение, поставленное после оптимального срока внесения, может оказаться экономически дороже. Аналогично крупная партия запасных частей с высокой скидкой создает избыточный запас, если детали не востребованы и устаревают до использования.

Поэтому первый этап бережливого управления снабжением – сегментация ресурсов по критичности и характеру спроса. Для каждого материального объекта необходимо ответить на четыре вопроса: какова цена отсутствия ресурса; насколько стабилен расход; каков срок и надежность поставки; существуют ли ограничения по сроку хранения и условиям безопасности. Один и тот же метод управления не подходит для дизельного топлива, сезонного объема семян, ремня привода комбайна и канцелярских материалов. Избыточная унификация правил здесь создает скрытый риск.

Полезно различать текущий, страховой, сезонный и технологический запасы. Текущий запас обеспечивает расход между очередными поставками. Страховой защищает процесс от неопределенности спроса или срока поставки. Сезонный создается заранее, если потребление сосредоточено в коротком периоде или поставка в сезон ограничена. Технологический запас необходим для выполнения операций приемки, сушки, охлаждения, созревания либо иной обработки. В Lean наличие такого запаса не объявляется потерей автоматически:

потерей является необоснованный объем сверх реально требуемой защиты потока.

В аграрной организации особенно важно отделять стратегически оправданный запас от запаса, возникшего из-за плохой управляемости. Если хозяйство приобретает часть семян заранее из-за объективного срока производства и поставки, это элемент обеспечения устойчивости. Если склад переполнен одинаковыми подшипниками, потому что подразделения независимо оформляют заявки и не видят общий остаток, запас маскирует информационный дефект. Следовательно, цель анализа – установить причину каждой категории запаса, а не задать единый процент сокращения.

Для измерения запаса применяют натуральные и стоимостные показатели. Средний запас за период может рассчитываться по нескольким контрольным точкам либо, при относительно равномерном движении, как среднее начального и конечного значения. Оборачиваемость показывает, сколько раз за период запас преобразуется в потребление или себестоимость. Показатель дней хранения делает результат понятным для операционного управления. Однако сезонность сельского хозяйства требует осторожности: среднегодовой коэффициент может скрывать критический пик перед посевной или уборкой. Поэтому годовую оценку необходимо дополнять недельными и месячными профилями.

$$K_{об} = \frac{P}{Z_{ср}} \quad (5.1)$$

$K_{об}$ – коэффициент оборачиваемости;

P – стоимость расхода (или себестоимость списания) за период;

$Z_{ср}$ – средняя стоимость запаса за тот же период.

$$Дз = \frac{T}{K_{об}} \quad (5.2)$$

$Дз$ – условная продолжительность хранения запаса в днях;

T – число календарных или рабочих дней анализируемого периода;

$K_{об}$ – коэффициент оборачиваемости.

Таблица 5.1 – Виды запасов и их интерпретация в бережливом управлении

Вид запаса	Функция	Аграрный пример	Когда становится потерей
Текущий	Обеспечение потребления между поставками	Фильтры, смазочные материалы, упаковка	Объем систематически выше фактического расхода и срока пополнения
Страховой	Защита от вариативности спроса и поставки	Критическая деталь к уборочной технике	Уровень не связан с вероятностью дефицита и стоимостью остановок

Сезонный	Подготовка к концентрированному периоду потребления	Семена, отдельные удобрения, материалы к уборке	Создается раньше необходимого срока или сверх производственной программы
Технологический	Обеспечение обязательной стадии процесса	Продукция на сушке, охлаждении, дозревании	Время и объем превышают технологически обоснованный уровень
Неликвидный	Не выполняет текущей производственной функции	Детали к списанной технике, просроченные материалы	Практически с момента потери применимости; требует отдельного решения

Оптимальный уровень запаса определяется компромиссом между расходами на хранение и риском дефицита. В стабильном спросе можно использовать классические модели размера заказа, однако для аграрных ресурсов их применимость ограничена сезонностью, минимальными партиями, ценовыми окнами и транспортной доступностью. Экономический размер заказа полезен как аналитический ориентир, а не как автоматическое правило. Он исходит из предположений, которые необходимо проверить: известный спрос, относительно постоянный срок поставки и сопоставимые издержки заказа и хранения.

Для ресурса с относительно равномерным потреблением точка заказа может быть определена как потребность на срок поставки плюс страховой запас. Такой расчет особенно удобен для расходных материалов и типовых запасных частей. Если средний расход составляет d единиц в день, срок поставки L дней, а страховой запас равен SS , сигнал на пополнение формируется при достижении уровня $d \times L + SS$. Ключевой принцип состоит в том, что сигнал создается фактическим потреблением, а не желанием заполнить склад до исторически привычного уровня.

$$ROP = d \times L + SS \quad (5.3)$$

ROP – точка заказа;

d – средний расход за единицу времени;

L – срок пополнения;

SS – страховой запас.

При сезонном скачке потребления параметры пересчитывают для соответствующей фазы сезона.

Вытягивающая система организует пополнение по фактическому потреблению нижестоящего процесса. Lean Enterprise Institute определяет pull production как систему, в которой последующий процесс сигнализирует предыдущему о необходимости пополнения; kanban служит разрешающим

сигналом на производство или перемещение. В складской логистике аграрного предприятия этот принцип может быть реализован карточкой, пустой тарой, штрихкодом, электронной заявкой или достижением минимального остатка. Физическая форма сигнала вторична; важны заранее определенные количество, место, ответственный и правило пополнения.

Для часто используемых недорогих позиций эффективна система двух контейнеров. Пока используется первый контейнер, второй обеспечивает потребность на время пополнения. Освобождение первого служит сигналом заказа. Для дорогих и критичных деталей логика иная: может использоваться единичный страховой запас, ремонтный комплект или соглашение с поставщиком о гарантированном сроке доставки. Следовательно, Kanban не означает обязательного наличия одинаковых карточек на каждом стеллаже; это способ связать расход с восполнением.

Сезонность требует адаптации pull-системы. Если весной расход фильтров и масел возрастает в несколько раз, параметры супермаркета должны быть заранее пересчитаны. Попытка применить зимний уровень запаса в посевную создаст дефицит, а постоянное хранение сезонного максимума в течение года заморозит капитал. Поэтому целесообразно использовать календарь режимов: базовый, предпосевной, уборочный, зимний. Для каждого режима устанавливаются свои минимальные и максимальные уровни и сроки пересмотра.

ABC-анализ помогает сосредоточить управленческое внимание на стоимостно значимых позициях, а XYZ-анализ – оценить стабильность потребления. Их сочетание позволяет выделить, например, дорогие и предсказуемые позиции AX, для которых точность планирования дает существенный финансовый результат; или критичные, но нерегулярно востребованные детали, которые по обычной статистике попадают в Z и требуют оценки не по частоте расхода, а по стоимости возможного простоя. Поэтому ABC/XYZ следует дополнять критичностью: низкая стоимость детали не означает низкую значимость для потока.

Склад в Lean рассматривается как рабочая зона потока. Здесь применимы 5S, визуальное управление, фиксированные адреса хранения, маркировка min/max, стандарты приемки и отбора, FIFO и FEFO. FIFO подходит для последовательного использования партий при отсутствии жесткого срока годности; FEFO отдает приоритет партии, у которой раньше наступает предельный срок использования. Для семян, средств защиты растений, ветеринарных препаратов, пищевой продукции и ряда расходных материалов выбор правила должен соответствовать нормативным и технологическим требованиям, а не удобству кладовщика.

Зонирование склада должно отражать частоту отбора, совместимость материалов, массу, требования к безопасности и маршрут движения. Часто

используемые позиции располагают ближе к зоне выдачи, тяжелые – с учетом безопасной механизации, опасные материалы – в специально предусмотренных местах. Диаграмма спагетти маршрутов комплектовщика позволяет обнаружить повторные проходы и возвраты. Результат измеряют в метрах или минутах на одну выдачу, количестве ошибок отбора и времени от заявки до фактической передачи материала.

Учетные данные должны совпадать с фактическим остатком. Если система показывает наличие детали, которой нет на полке, организация сталкивается с более опасной ситуацией, чем явный нулевой запас: планирование опирается на ложную информацию. Поэтому циклическая инвентаризация небольшими партиями часто полезнее редкой тотальной проверки. Для группы А и критических позиций частота контроля выше, для стабильных низкоценных – ниже. Цель не в количестве пересчетов, а в выявлении причины расхождения: ошибочная приемка, выдача без регистрации, неверная единица измерения, пересортица, нефиксированное списание.

Цифровая система управления складом может сократить время поиска и повысить достоверность данных, но только при стандартизированной номенклатуре и процессах. Если одна и та же деталь заведена под несколькими названиями, автоматизация ускорит создание дубликатов. Если выдача материалов не имеет единого правила, сканер не устранил дисциплинарный разрыв. Поэтому цифровизация должна следовать за нормализацией справочников, адресным хранением и определением точек регистрации.

Экономический эффект от управления запасами включает как прямые, так и балансовые компоненты. Снижение списаний и расходов на хранение непосредственно уменьшает затраты. Высвобождение оборотного капитала улучшает финансовую позицию, но не должно полностью записываться в прибыль текущего периода: это возврат средств из запаса в денежную форму. Для корректной оценки отдельно показывают изменение средней стоимости запаса, годовую стоимость его содержания, потери от неликвидов и затраты на внедрение.

Бережливое снабжение не может оцениваться только минимальным запасом. Более зрелый критерий – способность обеспечить производственный процесс нужным ресурсом в установленное время при минимальной совокупной стоимости и контролируемом риске. Поэтому KPI склада и закупок должны быть сбалансированы: оборачиваемость, доля неликвидов, точность учета, уровень выполнения заявок, аварийные закупки, время комплектования и число остановок по причине отсутствия материала.

5.2. Сокращение потерь при уборке, транспортировке и хранении сельскохозяйственной продукции

После завершения биологического формирования урожая ценность еще не гарантирована: продукцию необходимо убрать, переместить, при необходимости очистить, высушить или охладить и сохранить до реализации или переработки. FAO определяет послеуборочные потери как измеримые количественные и качественные потери продукции, возникающие на разных стадиях послеуборочной системы. Эта формулировка важна для Lean: потерей является не только физически исчезнувшая масса, но и снижение качества, которое уменьшает полезность или стоимость продукта.

Масштаб проблемы подтверждает международная статистика. По данным индикатора ЦУР 12.3.1 FAO, глобальные потери продовольствия после уборки на стадиях хозяйства, транспорта, хранения, оптового звена и переработки оценивались в 13,3 % производства в 2023 г.; для плодоовощной продукции показатель был выше, чем для зерновых и бобовых. Эти значения нельзя напрямую переносить на конкретное российское хозяйство, однако они показывают, почему послеуборочный поток требует самостоятельной диагностики и учета.

В растениеводстве критическое значение имеет время. Уборочная техника, транспорт и пункт приемки образуют связанный поток. Если производительность комбайнов выше способности транспорта вывозить зерно, бункеры заполняются и машины ожидают. Если автомобилей слишком много, очередь переносится к весовой, сушилке или складу. Локальная загрузка на 100 % каждой единицы техники не является целью; более важна максимальная пропускная способность всего потока при приемлемых затратах.

Для анализа уборочно-транспортного процесса необходимо измерять производительность комбайна в тоннах или гектарах за час, вместимость автомобиля, время загрузки, движение с грузом, ожидание разгрузки, разгрузку и обратный рейс. Полный транспортный цикл складывается из всех этих элементов. При известной производительности уборочной группы можно оценить требуемое число транспортных единиц. Но расчет должен учитывать вариативность расстояния, состояния дорог, очереди на весовой и фактической влажности продукции.

Ключевой показатель – доля времени ожидания в смене. Если комбайн простаивает из-за отсутствия транспорта, это не технический отказ, а логистическая потеря. Если грузовик стоит у сушилки, проблема может быть в пропускной способности приемки. Разделение причин позволяет не покупать дополнительную технику там, где ограничение находится в организации потока. Для визуального анализа полезна временная диаграмма по каждому автомобилю и комбайну, а для пространственного – карта маршрутов и точек пересечения.

Пропускная способность цепи определяется самым медленным звеном. Если комбайны обеспечивают 90 т/ч, транспорт – 85 т/ч, а приемно-сушильный комплекс – 60 т/ч, увеличение числа автомобилей не повысит выпуск системы выше 60 т/ч. Более того, оно увеличит очередь и затраты. Бережливое решение ищет способ стабилизировать ограничение: распределить поток между точками приемки, изменить очередность партий, увеличить время работы, сократить переналадки или скорректировать темп уборки.

Для скоропортящейся продукции время логистического цикла напрямую связано с качеством. Ожидание овощей, ягод, молока или другой чувствительной продукции без требуемого температурного режима может не менять массу, но снижать сортность, срок хранения и цену. Поэтому показателю lead time следует сопоставлять технологически допустимое время. Ускорение имеет ценность до той границы, где оно уменьшает риск ухудшения; после этого дополнительная скорость может не давать эффекта.

Маршрутизация в сельском хозяйстве имеет две особенности: распределенность объектов и динамичность дорожных условий. Оптимальный путь по карте не всегда является самым быстрым для груженой техники. При выборе маршрута учитывают длину, время, грузоподъемность и ограничения дорог, риск уплотнения почвы, очереди на приемке и возможность обратной загрузки. Для постоянных маршрутов полезно сравнивать километры на тонну перевезенной продукции и долю пробега без груза.

Количественные потери при уборке включают неубранную часть урожая, осыпание, механические повреждения, потери за рабочими органами и часть продукции, утраченную при перегрузке и транспортировке. Качественные потери проявляются как загрязнение, повреждение, увлажнение, перегрев, развитие вредителей или несоответствие требуемому классу. Для корректного управления важно фиксировать место возникновения. Общая недостача на складе не позволяет понять, возникла ли она в поле, при транспортировке, сушке или хранении.

Система измерения должна содержать баланс массы. Для заданного этапа сравниваются вход и выход с учетом технологически объяснимых изменений влажности и примесей. Простое сравнение тонн до сушки и после нее может ошибочно интерпретировать удаленную влагу как потерю продукции. Поэтому границы и единицы анализа должны быть заранее определены, а качественные показатели – влажность, содержание примесей, температура, класс – регистрироваться вместе с массой.

$$K_{\text{пот}} = \frac{Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вых}} - Q_{\text{техн}}}{Q_{\text{вх}}} \times 100\% \quad (5.4)$$

$K_{\text{пот}}$ – доля необъяснимых потерь;

$Q_{\text{вх}}$ – масса продукта на входе;

$Q_{\text{вых}}$ – масса продукта на выходе;

$Q_{\text{техн}}$ – технологически обоснованное изменение массы.



Рисунок 5.1 – Потери на стадиях послеуборочного потока

Хранение представляет собой управляемый технологический процесс, а не паузу между производством и продажей. Зерно требует контроля влажности и температуры, вентиляции, состояния сооружений и вредителей; плодоовощная продукция – температурно-влажностного режима, воздухообмена и осторожного обращения; семенной материал – сохранения посевных качеств и прослеживаемости партии. FAO отмечает, что потери хранения могут быть связаны не только с влагой, теплом и вредителями, но и с организационными и инфраструктурными факторами.

Lean-подход к хранению основан на предупреждении отклонения. Если персонал узнает о перегреве зерновой массы только после заметного ухудшения качества, процесс управляется реактивно. Если температура контролируется по установленному графику или непрерывно, имеются пороговые значения и стандарт действия, дефект можно остановить раньше. Аналогично для холодильной цепи важен не сам факт наличия холодильной установки, а стабильность температуры от приемки до отгрузки и регистрация отклонений.

Визуальное управление на складе готовой продукции включает адрес партии, дату поступления, ключевые показатели качества, допустимый срок хранения, очередность отгрузки и статус отклонения. Для партии, требующей дополнительного контроля, должна существовать физическая или информационная изоляция. Это снижает риск смешения и ошибочной отгрузки. В цифровой системе те же принципы реализуются через статусы и блокировки, но физическая организация склада должна им соответствовать.

Сокращение производственно-логистического цикла требует анализа всего времени от начала уборки партии до готовности к хранению или отгрузке. Оно состоит из времени полезной обработки и времени ожидания. В традиционном отчете часто видны только машино-часы; очередь перед сушилкой, ожидание лаборатории или повторная выгрузка не выделяются. Карта потока будущего состояния должна устранять именно эти интервалы, не нарушая технологически обязательную продолжительность сушки, охлаждения или карантинного контроля.

Для управления транспортом полезен показатель коэффициента использования времени цикла: отношение времени движения с грузом и необходимых операций к полной продолжительности рейса. Однако нельзя максимизировать его отдельно от производительности системы. Например, уменьшение времени ожидания автомобиля у комбайна за счет слишком раннего выезда может увеличить ожидание у склада. Поэтому оптимизация выполняется по суммарному lead time и пропускной способности цепи.

Информационный поток в уборочной логистике должен отвечать минимум на пять вопросов: где находится техника; какая партия и с какого поля перевозится; куда она направляется; какова загрузка приемных мощностей; есть ли отклонение качества или техническая проблема. Диспетчеризация может быть реализована радиосвязью, мобильным приложением или телематикой. Leap-эффект определяется не сложностью системы, а сокращением неопределенности и времени ожидания.

Управление очередью особенно важно, когда разные партии требуют разных режимов. Влажное зерно может направляться на сушку, сухое – непосредственно в склад; партия семенного назначения – на отдельную линию. Если все автомобили прибывают в общую очередь без предварительной маршрутизации, приемный комплекс тратит время на сортировку и перенаправление. Предварительная идентификация поля, культуры и параметров партии позволяет перенести решение ближе к источнику потока.

Экономический эффект снижения послеуборочных потерь состоит не только в росте реализуемой массы. Сохраняется уже вложенная стоимость: семена, удобрения, топливо, труд, амортизация и энергия, израсходованные на производство утраченной продукции. Поэтому предотвращение одной тонны потери часто имеет одновременно экономический и экологический эффект. В

ESG-оценке предпочтительно сначала показывать натуральный результат – тонны сохраненной продукции, литры топлива, киловатт-часы, километры пробега – а затем при наличии обоснованных коэффициентов переводить его в стоимостные и экологические показатели.

Качественные потери требуют отдельной оценки. Если зерно не исчезло физически, но перешло в более низкий класс, эффект определяется разницей цены и объемом пониженной партии. Для плодоовощной продукции возможны дополнительные расходы на сортировку и сокращение срока реализации. Следовательно, формула «потери = масса × цена» охватывает только часть последствий. В учебном и реальном проекте необходимо сначала классифицировать потерю как количественную или качественную.

В итоге послеуборочный Leap-проект должен синхронизировать производительность уборки, транспорта и приемки; сделать видимыми очереди и простои; обеспечить прослеживаемость партии; поддерживать установленный режим хранения и измерять физическую потерю в каждой точке. Только после этого целесообразно рассчитывать денежный эффект и выбирать инвестиционное решение.

5.3. Бережливое техническое обслуживание сельскохозяйственной техники и оборудования

Техническое состояние машин определяет способность аграрной организации использовать короткое технологическое окно. Поломка комбайна в середине уборки и тот же отказ в период хранения техники имеют различную экономическую цену. Поэтому техническое обслуживание в сельском хозяйстве должно учитывать не только вероятность отказа, но и критичность времени, наличие резервной машины, доступность сервиса и зависимость последующих операций.

ГОСТ 20793-2023 устанавливает виды, периодичность и основные требования к техническому обслуживанию сельскохозяйственных тракторов и машин, находящихся в эксплуатации, а также требования безопасности. Стандарт предусматривает планирование и графики ТО и указывает на необходимость корректировать перечень работ с учетом конструктивных особенностей и условий эксплуатации. Для Leap это важная граница: автономное обслуживание и TPM не могут отменять регламент изготовителя или обязательные требования; они помогают сделать выполнение работ своевременным, визуальным и ориентированным на предупреждение потерь.

Планово-предупредительное обслуживание основывается на выполнении работ до возникновения отказа по времени, наработке или иному установленному критерию. Его сильная сторона – предсказуемость ресурсов и снижение аварийности. Слабость возникает, если периодичность выполняется формально без учета состояния: исправный узел разбирают раньше необходимости, а другой

деградирует между регламентами. Поэтому зрелая система сочетает плановое обслуживание с диагностикой и анализом истории отказов.

Автономное обслуживание в ТРМ передает оператору ограниченный набор безопасных действий по поддержанию базового состояния: очистка, визуальный осмотр, проверка доступных уровней, выявление утечек и ослаблений, фиксация ненормального шума или температуры, простые операции в рамках регламента. Оператор не становится ремонтником. Его задача – заметить отклонение раньше, чем оно перейдет в аварийный отказ, и обеспечить передачу информации технической службе.

ТРМ рассматривает надежность оборудования как общую ответственность производства и обслуживания. Классическая логика включает предупреждение отказов, устранение хронических микропростоев, качество технического состояния, обучение и стандартизацию. В сельском хозяйстве ТРМ особенно эффективен в сезонных комплексах: до начала посевной или уборочной кампании устраняются накопленные отклонения, в сезон действует короткий цикл ежедневного контроля, после сезона выполняется анализ отказов и восстановление базового состояния.

Основой улучшения является достоверная классификация простоя. В журнале недостаточно записи «ремонт – 3 часа». Необходимо указать объект, симптом, первичную причину, время обнаружения, ожидание специалиста, ожидание запасной части, фактический ремонт, проверку и возврат в работу. Тогда видно, какая доля ремонтного цикла действительно связана с технической операцией, а какая – с логистикой и информацией. Сокращение времени доставки детали может дать больший эффект, чем ускорение разборки узла.

Для оценки надежности полезны показатели MTBF и MTTR. MTBF – среднее время работы между отказами для ремонтируемого объекта; MTTR – среднее время восстановления после отказа по принятой методике учета. Рост MTBF показывает увеличение интервала между отказами, снижение MTTR – ускорение восстановления. Но показатели интерпретируются только при стабильных правилах регистрации: если предприятие перестало фиксировать мелкие остановки, статистика формально улучшится без реального эффекта.

$$MTBF = \frac{T_{\text{раб}}}{N_{\text{отк}}} \quad (5.5)$$

MTBF – средняя наработка между отказами;

Траб – суммарное время работы;

Нотк – число зарегистрированных отказов за период.

$$MTTR = \frac{T_{\text{восст}}}{N_{\text{отк}}} \quad (5.6)$$

MTTR – среднее время восстановления;

Твосст – суммарное время восстановления;

Нотк – число зарегистрированных отказов за период.

Доступность оборудования можно приблизительно связать с МТBF и МТTR: при сопоставимых условиях чем больше интервал между отказами и меньше время восстановления, тем выше доступность. Однако для сезонной техники важен календарный контекст. Два часа простоя во время пикового уборочного дня могут быть экономически значимее десяти часов межсезонного ремонта. Поэтому к техническим КРІ добавляют показатель критического простоя в технологическое окно.

ОЕЕ – общая эффективность оборудования – объединяет доступность, производительность и качество. Для сельскохозяйственной машины показатель требует аккуратной адаптации. Доступность отражает работоспособность в запланированное время; производительность – фактический темп относительно обоснованного эталона; качество – долю результата без технологического дефекта. Нельзя повышать производительность за счет скорости, которая увеличивает потери урожая или ухудшает качество работы. Эталон должен быть технологически допустимым.

Для комбайна, например, низкая доступность может быть связана с отказами и ожиданием ремонта; низкая производительность – с микропростоями, неоптимальной организацией выгрузки или скоростью ниже устойчивой; низкое качество – с повышенными потерями за машиной или повреждением продукции. ОЕЕ не дает готового решения, но помогает разложить общий резерв на причины.

$$OEE = A \times P \times Q \times 100\% \quad (5.7)$$

ОЕЕ – общая эффективность оборудования;

A – доступность;

P – коэффициент производительности;

Q – коэффициент качества.

Предиктивное обслуживание строится на данных о фактическом состоянии и прогнозе деградации. Для современных машин доступны телематические коды, температура, давление, расход, вибрация, наработка и другие параметры. Но цифровой прогноз имеет ценность только тогда, когда существует процесс реакции: порог, ответственный, подтверждение сигнала, решение о вмешательстве, запасная часть и окно обслуживания. Без этого система превращается в дополнительный поток уведомлений.

Приоритизация обслуживания должна учитывать критичность актива. ISO 55001:2024 рассматривает управление активами как систему, в которой организация балансирует результативность, риск и затраты на протяжении жизненного цикла. Для аграрного предприятия критичность можно оценивать по влиянию отказа на технологический срок, безопасность, качество продукции, окружающую среду и стоимость восстановления. Комбайн в уборочное окно, насос оросительной системы в жаркий период и резервный трактор имеют разные профили риска.

Матрица критичности помогает определить глубину профилактики и запас деталей. Для критического узла допустим более высокий страховой запас и более частая диагностика; для некритической позиции может быть выгоднее заказ по факту. Это важная связь между разделами 5.1 и 5.3: запасные части должны управляться не только по стоимости и частоте расхода, но и по последствиям отсутствия.

Система запасных частей часто содержит одновременно дефицит критических позиций и излишек редко используемых. Причина – закупка «на всякий случай» после аварии. После одного длительного простоя подразделение создает большой запас аналогичных деталей без статистики и не пересматривает его. Lean-подход предлагает классифицировать отказ, определить критичность, фактический срок поставки и альтернативу восстановления, после чего установить норму запаса. Для части дорогих узлов целесообразен сервисный договор или общий региональный запас поставщика вместо собственного хранения.

Ремонтный цикл включает больше, чем время работы слесаря. Это обнаружение, диагностика, согласование, доставка техники или специалиста, поиск документации, ожидание детали, ремонт, проверка и ввод в эксплуатацию. Карта потока ремонта часто показывает, что значительная часть lead time приходится на ожидание. Поэтому SMED-логика отделения внешних и внутренних действий применима и здесь: инструмент, документацию, комплект деталей и безопасную рабочую зону готовят до остановки, если это допускается регламентом.

Для сезонной техники особенно важен предсезонный стандарт готовности. Он должен содержать не формальную отметку «исправно», а контроль критических систем, расходных материалов, обновлений, комплектности, измерительных средств и запасов быстрого реагирования. Пробный запуск и работа под нагрузкой позволяют выявить дефект до технологического окна. ГОСТ 20793-2023 предусматривает техническое обслуживание перед началом сезона для машин сезонного использования, что соответствует этой логике.

После сезона данные об отказах необходимо преобразовывать в улучшение. Диаграмма Парето выделяет несколько причин, создающих основную часть времени простоя; «5 почему» и диаграмма Исикавы помогают установить корневые факторы; А3 связывает проблему, анализ, контрмеры и контроль результата. Если ремонтная служба только восстанавливает работоспособность, но одинаковая поломка повторяется каждый сезон, организация не использует накопленный опыт.

Безопасность является ограничением любого улучшения. Попытка сократить время ремонта за счет пропуска блокировки, ограждений или операций, предписанных руководством по эксплуатации, не относится к Lean. ГОСТ 20793-2023 прямо связывает проведение ТО и текущего ремонта с

указаниями руководств по эксплуатации и нормативно-технической документации и содержит отдельные требования безопасности. Бережливость означает удаление ненужного ожидания и поиска, а не сокращение обязательной безопасной процедуры.

Экологический аспект обслуживания проявляется в предотвращении утечек топлива и масел, правильном обращении с отработанными материалами, поддержании энергоэффективности и продлении жизненного цикла техники. Раннее устранение малой утечки одновременно снижает расход, риск загрязнения и вероятность последующего отказа. Поэтому ТРМ может создавать экономический и экологический эффект одной и той же контрмерой.

Зрелая система технического обслуживания характеризуется не максимальным объемом профилактических работ, а управляемой надежностью. Предприятие понимает, какие активы критичны, какие отказы повторяются, сколько времени занимает каждый этап восстановления, какие запасные части действительно необходимы и как техническое состояние влияет на производственный поток. Это делает обслуживание частью системы создания ценности, а не отдельной функцией, возникающей после поломки.

Практические кейсы

Кейс 1. Сокращение избыточного запаса запасных частей и расходных материалов

Условие. В хозяйстве средняя стоимость складского запаса запасных частей, фильтров, масел и расходных материалов составляла 6,4 млн руб. Анализ показал дублирование номенклатуры, наличие позиций к выведенной из эксплуатации технике и одинаковые нормы для сезона и межсезонья. После ABC/XYZ-классификации, оценки критичности, введения min/max для повторяющихся позиций и пересмотра сезонных норм целевой средний запас составил 4,7 млн руб. Годовая стоимость содержания запаса принята на уровне 20 % от его средней стоимости. Списание неликвидов и просроченных материалов до проекта составляло 260 тыс. руб. в год, после проекта ожидается 90 тыс. руб. Единовременные затраты на маркировку, настройку учета и инвентаризацию – 180 тыс. руб. Данные учебные.

Требуется определить высвобождение оборотного капитала, снижение годовой стоимости содержания, предотвращенные списания и чистый эффект первого года без включения высвобожденного капитала в прибыль.

Кейс 2. Синхронизация уборки и транспортировки зерна

Условие. В уборочной группе суммарно запланировано 1 200 машино-часов работы комбайнов. Хронометраж показал, что 15 % планового времени теряется в ожидании транспорта. После диспетчеризации рейсов, закрепления

маршрутов и изменения графика приемки долю ожидания удалось снизить до 6 %. Полная расчетная стоимость одного машино-часа комбайна в период уборки – 7 500 руб. Для запуска диспетчеризации потребовались дополнительные расходы 160 тыс. руб. Все исходные данные условные; изменение урожайности и цены продукции в расчет не включается.

Требуется определить высвобождаемое машинное время и прямой эффект от сокращения ожидания.

Задания для самостоятельной работы

Задание 1. Точка заказа и страховый запас

Средний расход фильтров для группы тракторов в рабочий сезон – 4 шт. в день. Обычный срок поставки – 5 дней. Для защиты от вариативности хозяйство устанавливает страховой запас 8 шт. На складе находится 31 фильтр. Рассчитайте точку заказа и определите, должен ли быть сформирован сигнал на пополнение. Затем пересчитайте параметр для межсезонья, если расход снижается до 1 фильтра в день, а страховой запас – до 4 шт. Объясните, почему единая круглогодичная норма создает избыточный запас.

Задание 2. Расчет транспортного обеспечения уборочного потока

Уборочная группа обеспечивает устойчивый поток 72 т зерна в час. Вместимость одного автомобиля – 18 т. Полный рейс «поле – приемка – поле» занимает в среднем 54 мин. Определите теоретически необходимое число автомобилей для поддержания потока. Затем рассчитайте, как изменится потребность, если за счет маршрутизации средний цикл сократится до 45 мин. Округление выполняйте в большую сторону. Объясните, почему расчетное число машин необходимо проверить наблюдением очередей и вариативности цикла.

Задание 3. Экономика сокращения потерь при хранении

На хранение заложено 5 800 т зерна. По итогам прошлых периодов необъяснимые потери при сопоставимой влажности составляли 2,6 %. После ремонта герметизации, усиления контроля температуры и стандартизации вентиляции целевой уровень – 1,5 %. Расчетная цена тонны – 15 500 руб. Дополнительные годовые расходы на мониторинг и обслуживание – 230 тыс. руб. Рассчитайте сохраненную массу, валовой и чистый экономический эффект. Отдельно перечислите, какие данные нужны, чтобы не принять технологическую усушку за потерю.

Задание 4. Надежность уборочной техники

За сезон комбайн отработал 420 ч и имел 7 учитываемых отказов. Суммарное время восстановления составило 35 ч. После проекта ТРМ ожидается

5 отказов при 20 ч суммарного восстановления за сопоставимую наработку. Рассчитайте MTBF и MTTR до и после проекта. Укажите, какой показатель изменился сильнее и какие дополнительные данные нужны для расчета доступности и экономического эффекта.

Задание 5. Классификация запасных частей

Сформируйте в Excel матрицу для десяти запасных частей по четырем признакам: годовая стоимость потребления, вариативность спроса, срок поставки и критичность остановки техники. Разделите позиции на группы и предложите для каждой стратегию: Kanban/min-max, единый страховой запас, заказ по факту, сервисный запас поставщика или исключение из номенклатуры. Обоснуйте, почему дорогая позиция не всегда требует большого запаса, а дешевая деталь может быть критической.

Вопросы для самопроверки

1. Почему минимальный запас не является самостоятельной целью бережливого управления аграрной организацией?
2. Чем текущий, страховой, сезонный и технологический запасы отличаются по своему назначению?
3. Как вытягивающая система и Kanban могут быть адаптированы к сезонному потреблению материальных ресурсов?
4. Почему ABC/XYZ-анализ запасных частей необходимо дополнять оценкой критичности для производственного потока?
5. В чем различие между количественными и качественными послеуборочными потерями и как это влияет на расчет экономического ущерба?
6. Почему максимальная загрузка каждого комбайна, автомобиля и сушилки не гарантирует максимальной эффективности уборочного потока?
7. Какие показатели позволяют диагностировать ожидание и избыточные перемещения в уборочно-транспортной логистике?
8. Как MTBF, MTTR и OEE используются для анализа надежности сельскохозяйственной техники и какие ограничения имеет каждый показатель?
9. Чем автономное обслуживание в TPM отличается от ремонта и почему оно не отменяет регламент производителя?
10. Как связаны управление запасными частями, критичность техники и сокращение ремонтного цикла?

Выводы по главе

Материальные потоки аграрной организации требуют управления как единой системой от закупки до использования ресурса и от уборки до сохранения продукции. Запас защищает поток от неопределенности, но становится потерей, когда его объем не связан с фактическим потреблением, сроком поставки,

сезонностью или критичностью. Поэтому бережливое снабжение сочетает pull-логику, min/max, Kanban, ABC/XYZ, оценку критичности и визуальное управление складом.

Послеуборочная логистика должна синхронизировать производительность уборки, транспорта и приемки. Очередь и простой рассматриваются как свойства системы, а не как вина отдельной машины. Измерение lead time, времени ожидания, пропускной способности и потерь массы/качества позволяет локализовать узкое место и избежать локальной оптимизации, при которой улучшение одного участка только переносит очередь на следующий.

Хранение является активной технологической стадией. Контроль температуры, влажности, состояния партии и очередности отгрузки позволяет предупреждать дефект, а не фиксировать его после завершения хранения. Экономическая оценка должна отделять технологически обоснованное изменение массы от реальной потери и учитывать снижение качества, если оно уменьшает стоимость продукции.

Техническое обслуживание формирует надежность производственного потока. Плановое обслуживание, автономный уход, TPM, анализ MTBF/MTTR и OEE, управление критичностью и запасными частями дополняют нормативные и изготовительские регламенты. Наиболее значительный резерв часто находится не в скорости самого ремонта, а в предупреждении отказа и сокращении ожидания диагностики, специалиста или детали.

Общая логика главы сводится к единому принципу: ресурс должен находиться в нужном месте, количестве, состоянии и в нужный момент. Избыточный запас, лишний рейс, очередь перед сушилкой и аварийный простой имеют разную форму, но одинаковую экономическую природу – они потребляют ресурс без увеличения ценности. Управление этими потерями создает основу для последующей цифровизации и ESG-оценки бережливой трансформации.

ГЛАВА 6. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕРЕЖЛИВОГО АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

6.1. Agriculture 4.0 и цифровая модель аграрного производства

Понятие Agriculture 4.0 сформировалось под влиянием четвертой промышленной революции и обозначает не отдельную технологию, а новый способ организации производства, в котором физические процессы, данные и управленческие решения связываются в единую цифровую среду. В докладе FAO о цифровых технологиях в сельском хозяйстве показано, что распространение мобильных технологий, дистанционного зондирования, распределенных вычислений, IoT и искусственного интеллекта создает предпосылки для цифровой трансформации агропродовольственных систем. Для Lean принципиально, что цифровая трансформация отличается от простой замены ручной операции автоматической: она меняет информационный поток и, следовательно, скорость и качество управления отклонениями.

Эволюцию цифрового аграрного производства целесообразно рассматривать как несколько последовательных уровней. На первом уровне механизация сокращает физический труд, но решение почти полностью остается у оператора. На втором уровне автоматизируется отдельная операция: контроллер поддерживает температуру, автопилот удерживает траекторию, автоматический дозатор отмеряет компонент. Третий уровень связан с оцифровкой: события получают цифровое представление, формируется история операций и показателей. На четвертом уровне разрозненные данные интегрируются, а решение строится на совокупности источников. Пятый уровень – управление сквозным цифровым процессом, когда информация от поля, стада, техники, склада, закупок и экономики объединяется для координации всего потока.

Такое разделение важно для оценки проекта. Автоматизация одной операции может увеличить локальную производительность, но не устранить системное ограничение. Например, ускорение выгрузки зерна не улучшит уборочный поток, если сушильный комплекс уже работает на предельной мощности. Установка датчиков влажности почвы не уменьшит расход воды, если показания не участвуют в правилах полива. Цифровой Lean поэтому начинается не с выбора технологии, а с картирования процесса: где теряется ресурс, какая информация нужна для решения, когда она должна появиться и какое действие должно последовать.

В цифровой модели сельскохозяйственной организации физический объект и информационное представление существуют параллельно. Поле описывается контуром, агрохимическими характеристиками, историей операций, картами урожайности и текущим состоянием посевов; машина – идентификатором, местоположением, наработкой, расходом топлива и техническими сигналами;

животное – идентификатором, продуктивностью, событиями воспроизводства и данными датчиков; склад – остатками, качественными характеристиками партий и режимом хранения. Эти цифровые объекты связываются с заданиями, затратами и ответственными лицами.

Полезно выделять семь уровней цифрового аграрного процесса. Физический уровень содержит поля, животных, оборудование, продукцию и инфраструктуру. Сенсорный уровень формирует измерения. Коммуникационный обеспечивает передачу. Уровень хранения и интеграции сопоставляет данные из разных источников. Аналитический превращает данные в показатели, прогнозы и сигналы. Управленческий уровень формирует решение. Исполнительный переводит решение обратно в физическое действие. Замыкание этого контура отличает систему управления от системы наблюдения.

Информационный поток имеет собственное время цикла. Для аграрного процесса важно не просто наличие данных, а их своевременность. Снимок поля, полученный через неделю после возникновения очага, может быть точным, но управленчески бесполезным. Аналогично сигнал о перегреве подшипника после остановки машины не выполняет профилактическую функцию. Поэтому в цифровом Leap измеряется латентность – интервал от возникновения события до управленческого действия.

$$T_{\text{цифр}} = T_{\text{изм}} + T_{\text{перед}} + T_{\text{обр}} + T_{\text{реш}} + T_{\text{действ}} \quad (6.1)$$

$T_{\text{цифр}}$ – цифровое время цикла;

$T_{\text{изм}}$ – время от события до измерения;

$T_{\text{перед}}$ – время передачи данных;

$T_{\text{обр}}$ – время обработки и подготовки информации;

$T_{\text{реш}}$ – время принятия решения;

$T_{\text{действ}}$ – время реализации управляющего воздействия.

Сокращение цифрового цикла имеет смысл только в тех процессах, где более ранняя реакция действительно предотвращает потерю.



Рисунок 6.1 – Эволюция цифровизации аграрного производства

В аграрной организации часто существует несколько независимых цифровых контуров: бухгалтерская система, система управления полями, телематика производителя техники, лабораторная база, складская программа и государственные информационные системы. Каждый контур может быть функционален сам по себе, но отсутствие интеграции создает цифровые потери. Работники повторно вводят одинаковые сведения, сводят таблицы вручную, согласуют различные справочники культур и полей, переносят задания через мессенджеры. В результате цифровизация сокращает физические операции, но увеличивает информационную обработку.

С позиций Leap можно выделить несколько форм цифровой muda. Первая – повторный ввод данных. Вторая – ожидание выгрузки, согласования или ручной сверки. Третья – избыточный информационный запас, когда организация собирает тысячи показателей без понятного сценария использования. Четвертая – дефекты данных: ошибки координат, единиц измерения, идентификаторов, времени. Пятая – избыточная обработка, например формирование нескольких отчетов с одинаковым содержанием. Шестая – неиспользованный потенциал информации: данные есть, но не превращаются в действие. Такое расширение классической классификации потерь позволяет оценивать ИТ-проект по влиянию на поток, а не по числу приобретенных модулей.

Цифровой двойник является более зрелой формой цифровой модели. Международный стандарт ISO/IEC 30173:2023 устанавливает терминологию и концепции цифровых двойников, а опубликованный в июле 2026 г. ISO/IEC 30188:2026 определяет общую референсную архитектуру цифровой двойниковой

системы. В учебном контексте цифровой двойник целесообразно понимать как динамически обновляемое цифровое представление объекта или процесса, связанное с физической системой данными и используемое для наблюдения, анализа, прогнозирования либо выбора воздействия. Статичная карточка поля или обычная панель KPI сама по себе цифровым двойником не является.

В сельском хозяйстве объектом цифрового двойника может быть отдельная машина, орошаемое поле, теплица, группа животных, зернохранилище либо сквозной процесс. Простейший уровень отображает текущее состояние. Более зрелый – объясняет причины отклонений. Предиктивный уровень оценивает вероятное будущее состояние. Прескриптивный предлагает вариант действия, а замкнутый контур способен автоматически передавать управляющее воздействие. Степень автономности должна определяться риском: автоматическое включение вентиляции по температуре допустимо в гораздо более широком классе задач, чем полностью автономное изменение агрономической стратегии.

ISO/IEC 30186:2025 предлагает общий подход к оценке зрелости цифровых двойников. Для аграрной организации идея зрелости полезна как защита от завышенных ожиданий. Если предприятие не имеет устойчивой идентификации объектов, калиброванных датчиков, истории данных и процедур реакции, построение сложной прогнозной модели будет опережать зрелость базового процесса. Lean-логика требует сначала стабилизировать поток, затем автоматизировать устойчивый стандарт и только после этого расширять автономность решений.

Платформенное решение объединяет несколько функций и участников вокруг общего слоя данных и сервисов. В аграрном секторе платформы могут соединять управление полями, телематику, планирование работ, закупки, склад, продажи, лабораторные показатели и отчетность. Европейская комиссия рассматривает данные и цифровые технологии как один из факторов повышения эффективности, устойчивости и конкурентоспособности сельского хозяйства. Для предприятия ценность платформы возникает не от самого факта объединения модулей, а от сокращения интерфейсных потерь между функциями.

При проектировании цифровой модели следует различать интеграцию и централизацию. Не обязательно переносить все сведения в одну программу. Более реалистична архитектура, где специализированные системы сохраняют свои функции, но обмениваются согласованными данными через интерфейсы. Задача архитектуры – обеспечить однозначную идентификацию объектов, единицы измерения, временные метки, права доступа и правила обновления. ISO/IEC 30141:2024 рассматривает IoT как архитектуру из взаимосвязанных представлений и паттернов, что подчеркивает системный, а не устройственный характер IoT.



Рисунок 6.2 – Уровни сквозной цифровой модели аграрного процесса

Российская аграрная организация взаимодействует также с внешними государственными цифровыми контурами. На официальном ресурсе Минсельхоза России представлены, в частности, ФГИС «Зерно» и ФГИС «Семеноводство». Эти системы не заменяют внутреннюю ERP или систему управления хозяйством, но формируют обязательный внешний информационный поток. Бережливый подход требует по возможности исключить повторное ручное формирование сведений, организуя корректный первичный учет и интеграцию там, где она юридически и технически допустима.

6.2. Интернет вещей, искусственный интеллект и Big Data в управлении потерями

Интернет вещей формирует техническую основу непрерывного наблюдения за аграрными процессами. ISO/IEC 30141:2024 задает стандартизированную референсную архитектуру IoT и рассматривает систему как совокупность взаимосвязанных представлений, а не как набор подключенных датчиков. В прикладной схеме можно выделить сенсор или исполнительный механизм, локальный контроллер, канал связи, edge- или облачную обработку, приложение пользователя и интеграцию с корпоративными системами. Для

сельского хозяйства эта архитектура особенно важна из-за пространственной распределенности объектов и нестабильности связи.

Сенсоры переводят физическое состояние в измеряемый сигнал. В растениеводстве фиксируются влажность и температура почвы, метеопараметры, уровень воды, состояние растений, позиция и режим работы техники. В животноводстве – идентификаторы, активность, параметры доения, микроклимат, потребление ресурсов. На хранении – температура, влажность, концентрация отдельных газов, состояние вентиляции. При этом измерение само по себе не является управленческой ценностью. Необходимо определить допустимый диапазон, периодичность, качество измерения и правило реакции.

Телеметрия техники позволяет заменить эпизодический контроль наблюдением фактической эксплуатации. По координатам и режимам работы можно оценивать простой, холостой ход, повторные проходы, отклонение от маршрута и фактическую наработку. Связь телеметрии с заданиями дает более сильный результат: система понимает не только где находится машина, но и какую операцию она должна выполнять, на каком поле, с какой нормой и в каком временном окне. Именно сопоставление факта с планом делает отклонение видимым.

Edge computing – обработка данных рядом с источником – полезна, когда связь нестабильна или реакция должна быть быстрой. Например, система локального управления поливом способна прекратить подачу при аварийном давлении без ожидания облачного сервиса. Облако, напротив, удобно для объединения истории, сложной аналитики и межхозяйственного масштаба. Рациональная архитектура сочетает оба уровня: критические реакции остаются локальными, а накопительный анализ выполняется централизованно.

Искусственный интеллект в аграрном производстве используется для классификации, распознавания объектов, прогнозирования числовых показателей, выявления аномалий и оптимизации решений. FAO отмечает применение AI в мониторинге почвы и растений, роботизации и предиктивной аналитике; современная стратегия организации связывает AI с более точным и ресурсоэффективным сельским хозяйством. В Lean-логике алгоритм полезен не потому, что он сложнее обычного правила, а если он раньше или точнее обнаруживает потерю и его результат можно встроить в стандартную реакцию.

Прогнозирование урожайности является типичной регрессионной задачей. Модель может учитывать погоду, историю урожайности, характеристики почвы, сроки операций, дистанционные индексы и другие признаки. Однако прогноз ценен только в конкретном решении: планировании транспорта, хранения, закупки тары, сушильной мощности или продаж. Ошибка модели должна оцениваться не абстрактно, а относительно стоимости ошибочного решения. Для одной культуры ошибка в 5 % может быть приемлемой для долгосрочного бюджета и неприемлемой для почасовой синхронизации уборки.

Машинное зрение позволяет распознавать сорные растения, признаки заболеваний, повреждения, плоды, животных и дефекты продукции. В отличие от ручного выборочного осмотра камера может собирать данные регулярно и на большой площади. Но качество модели зависит от условий съемки, освещения, сезона, сорта, фона и состава обучающей выборки. Поэтому при переносе алгоритма на новое хозяйство требуется валидация. Автоматическое решение, не проверенное на локальных условиях, способно систематически создавать новый дефект.

Беспилотные системы расширяют возможности дистанционного наблюдения и точечного воздействия. БПЛА используются для съемки, построения ортофотопланов, оценки неоднородности посевов и в некоторых технологических сценариях – для внесения материалов. Leap-эффект проявляется тогда, когда беспилотная операция сокращает время обследования, позволяет раньше локализовать проблемный участок либо снижает долю сплошной обработки. При этом правовые условия эксплуатации беспилотных систем зависят от юрисдикции и должны проверяться отдельно; в учебной оценке технология рассматривается прежде всего как элемент процесса сбора и применения данных.

Big Data в сельском хозяйстве возникает не просто из большого объема информации. Для управления одновременно значимы объем, скорость поступления, разнообразие форматов и достоверность. Потоки GNSS, изображения, сенсорные ряды, лабораторные измерения, документы и экономические показатели имеют разные временные масштабы и качество. Чем больше источников объединяется, тем выше требования к справочникам, синхронизации времени, единицам измерения и происхождению данных.

Качество данных – одна из центральных проблем цифрового Leap. Неверное значение датчика может вызвать ненужное действие; пропущенный пакет – скрыть отклонение; смещение калибровки – сформировать устойчивую ошибку; дубликаты – завесить показатель. Поэтому перед построением AI-модели необходимо определить минимальный набор контролей: полнота, точность, своевременность, непротиворечивость и прослеживаемость. Для каждого критического показателя устанавливается владелец данных и процедура работы при отказе источника.

Таблица 6.1 – Цифровые технологии и виды аграрных потерь

Технология	Пример данных	Управленческое применение	Сокращаемая потеря
IoT-сенсоры	Влага почвы, температура, давление, микроклимат	Пороговое управление и раннее предупреждение	Перерасход воды/энергии, поздняя реакция
Телеметрия	Координаты, топливо, обороты, наработка	Контроль маршрутов, холостого хода и загрузки	Простой, лишние движения, ГСМ

Машинное зрение	Изображения растений, животных, продукции	Распознавание объектов и дефектов	Повторный контроль, позднее выявление дефекта
БПЛА/ДЗЗ	Мультиспектральные и RGB-снимки	Поиск неоднородности и локальных проблем	Избыточная сплошная обработка, пропущенные зоны
AI/ML	Исторические и текущие данные	Прогноз, классификация, аномалии, оптимизация	Запаздывание решения, неоптимальное распределение ресурсов
Edge computing	Локальный поток датчиков	Автономная быстрая реакция	Потери из-за задержки связи
Big Data-платформа	Данные разных систем и периодов	Сквозной анализ и сопоставление причин	Информационные разрывы, ручная сверка

Управление в реальном времени требует различать скорость поступления и ценность реакции. Не каждый процесс должен обновляться каждую секунду. Положение техники может быть полезно с интервалом в секунды или минуты, а агрохимический анализ – раз в несколько лет. Избыточная частота создает информационный запас и увеличивает стоимость инфраструктуры. Интервал измерения должен быть меньше периода, за который отклонение способно привести к существенной потере, но не настолько мал, чтобы система генерировала бессмысленный поток данных.

Для сигналов AI и IoT важны два типа ошибок. Ложноположительный сигнал вызывает ненужную проверку или вмешательство. Ложноотрицательный пропускает реальное отклонение. В аграрном процессе цена этих ошибок различна. Пропуск перегрева критического узла в уборочный сезон может быть существенно дороже дополнительного профилактического осмотра. Поэтому порог модели выбирается не только по статистической метрике, но и по стоимости последствий.

$$K_{\text{сиг}} = \frac{N_{\text{подтв}}}{N_{\text{всего}}} \times 100\% \quad (6.2)$$

$N_{\text{подтв}}$ – число сигналов, подтвердивших управленчески значимое отклонение;

$N_{\text{всего}}$ – общее число сформированных системой сигналов.

Этот показатель не заменяет оценку чувствительности модели, но помогает понять, насколько информационный поток перегружает персонал.

В прогнозных моделях полезно фиксировать абсолютную ошибку. Для набора наблюдений средняя абсолютная ошибка рассчитывается как:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (6.3)$$

MAE – средняя абсолютная ошибка;

y_i – фактическое значение i -го наблюдения;

$\hat{y}_i$ – прогнозное значение i -го наблюдения;

n – число наблюдений.

В учебном анализе MAE следует переводить в управленческое измерение: тонны урожая, дни запаса, машино-часы или денежный риск. Простое уменьшение метрики модели не всегда дает пропорциональный экономический эффект.

Внедрение модели должно проходить через базовую линию. До автоматизации фиксируется существующий показатель: расход ресурса, время реакции, число дефектов, простой или трудоемкость контроля. Затем проводится пилот и измеряется изменение. Без базовой линии организация знает, что система работает технически, но не может доказать Lean-эффект. Это особенно важно при высокой изменчивости сельского хозяйства: погода, урожайность, цены и биологические факторы могут дать больший вклад в результат, чем сама технология.

Еще одно ограничение – дрейф данных и модели. Состав признаков и взаимосвязи меняются при смене сорта, рациона, оборудования, агротехнологии или климатических условий. Алгоритм, который показывал высокую точность в прошлом, может постепенно терять качество. В цифровом Lean контроль модели должен быть таким же регулярным, как контроль технического процесса: сравниваются прогноз и факт, анализируются ошибки, определяется момент пересмотра порога или переобучения.

Кибербезопасность становится частью надежности производства. NISTIR 8259A определяет базовые возможности кибербезопасности IoT-устройств как отправную точку для защиты устройств, данных и связанных систем. Для аграрного предприятия практический смысл состоит в управлении идентификацией устройств, обновлениями, доступом, журналированием и безопасной конфигурацией. Уязвимый датчик или шлюз может быть не только информационной проблемой: при связи с исполнительными механизмами нарушение способно перейти в физический процесс.

Важен и человеческий фактор. Система с высокой технической точностью может не дать эффекта, если персонал не понимает сигналы или получает их слишком много. Поэтому интерфейс должен поддерживать работу по исключениям: нормальный процесс не требует постоянного внимания, а отклонение выделяется, имеет приоритет и сопровождается понятным действием. Этот принцип сближает цифровое управление с визуальным менеджментом Lean.

Экономическая оценка цифровой технологии должна разделять прямой и опосредованный эффект. Прямой эффект возникает при сокращении расхода воды, энергии, химических материалов, топлива или человеко-часов. Опосредованный связан со снижением вероятности потери урожая, аварии или ухудшения качества. Второй тип сложнее доказать, поэтому расчеты следует строить через вероятность и сценарии, а не выдавать предотвращенный риск за гарантированную экономию.

$$\mathcal{E}_{\text{цифр}} = \mathcal{E}_{\text{рес}} + \mathcal{E}_{\text{труд}} + \mathcal{E}_{\text{простой}} + \mathcal{E}_{\text{кач}} - Z_{\text{экспл}} \quad (6.4)$$

Эцифр – экономический эффект цифровой технологии;

Эрес – подтвержденная экономия ресурсов;

Этруд – высвобожденная стоимость трудоемкости;

Эпростой – эффект сокращения простоев;

Экач – эффект предотвращенных потерь качества;

Zэкспл – дополнительные ежегодные эксплуатационные расходы.

Инвестиционные затраты учитываются отдельно при расчете срока окупаемости, NPV или ROI.

Цифровая технология становится инструментом бережливого производства, когда выполнены четыре условия: исходная потеря измерена; данные действительно связаны с ее причиной; существует стандарт реакции; после внедрения подтвержден физический результат. Без этой цепочки IoT и AI остаются технологической инфраструктурой, но не доказанным улучшением процесса.

6.3. Системы поддержки управленческих решений и цифровой Lean

Системы поддержки управленческих решений образуют уровень, на котором данные превращаются в действие. В сельскохозяйственной организации одновременно могут применяться ERP, системы управления полями (FMIS), GIS, телематические платформы, складские и лабораторные системы, решения для животноводства и технического обслуживания. Их функциональные границы различаются, поэтому архитектуру следует строить не вокруг названий программ, а вокруг ответственности за конкретные процессы и данные.

ERP концентрирует ресурсы предприятия: закупки, запасы, финансы, договоры, персонал и учет затрат. Операционный уровень отвечает на другой вопрос – что происходит сейчас в производстве. В промышленной архитектуре для этого используется понятие MES. Стандарт IEC 62264-3:2016 описывает модели управления производственными операциями между бизнес-планированием и уровнем управления процессом. В сельском хозяйстве аналогичная функция может быть реализована специализированной FMIS, диспетчерской системой, телематической платформой или набором интегрированных модулей. Поэтому термин MES следует использовать

функционально, а не требовать буквального внедрения промышленного продукта.

Сквозной цифровой поток должен связывать план и факт. ERP или плановая система формирует потребность: обработать поле, доставить материал, провести обслуживание. Операционная система назначает ресурс и передает задание. Телеметрия и оператор подтверждают выполнение. Фактический расход ресурсов и объем работ возвращаются в учет. Аналитика сопоставляет план, факт и отклонение. Если одна из этих передач выполняется вручную, в потоке появляется риск задержки и ошибки.

Цифровая панель показателей должна быть продолжением визуального управления, а не электронным архивом. Ее задача – сделать отклонение заметным. Для оператора важны текущие задания и исключения; для руководителя участка – состояние потока и причины потерь; для директора – агрегированные показатели результата. Чем выше уровень управления, тем меньше число показателей и тем больше период обобщения. Попытка показать всем одинаковый набор из десятков KPI создает информационный шум.

Ключевой принцип панели – связь показателя с действием. Если на экране отображается расход топлива, но превышение не имеет порога и ответственного, это наблюдение, а не управление. Рабочий KPI должен иметь целевое значение или диапазон, период обновления, источник данных, владельца и стандарт реакции. Для цифрового Lean особенно полезны показатели потока: время выполнения задания, доля ожидания, время реакции на отклонение, доля незакрытых сигналов, повторные операции, расход ресурса на единицу результата.

Цифровое картирование процесса расширяет классическую VSM за счет фактических событий. Если техника, склад и производственные операции имеют временные метки, карта строится не только на интервью, но и на журнале событий. Можно вычислять реальное время ожидания, очереди, длительность перемещения и вариабельность цикла. Process mining использует цифровые следы для восстановления фактических маршрутов процесса. Однако результат зависит от полноты журналов: отсутствующее событие приводит к неправильной карте так же, как неверный хронометраж в традиционном анализе.

Особенно полезна концепция управления по исключениям. Нормальный процесс выполняется без постоянного вмешательства менеджера, а система привлекает внимание только при отклонении от стандарта. Для этого необходимо настроить приоритеты. Критический сигнал о риске остановки оборудования не должен конкурировать на одном уровне с напоминанием о плановом отчете. В противном случае цифровая среда создает новый вид перегрузки – информационную тигi.

Управление сигналами можно оценивать через время закрытия и накопление незавершенных исключений. Если система формирует 100

предупреждений в сутки, а команда способна качественно обработать 60, очередь будет расти независимо от точности алгоритма. Значит, либо пороги избыточно чувствительны, либо недостаточна производительность процесса реакции. Аналогично производственной линии, информационный поток имеет собственное узкое место.

Отраслевые информационные системы должны быть интегрированы с процессом ответственности. Например, электронная карта поля может содержать план операции, но если диспетчер формирует сменное задание в отдельной таблице, а фактический расход топлива остается только в телематике, управленческая цепь разрывается. Цифровой Leap стремится минимизировать число ручных интерфейсов и создать единый маршрут данных от задания до экономического результата.

Построение KPI следует начинать от цели потока. Если задача – снизить потери при уборке, верхнеуровневый результат может измеряться долей потерь продукции и себестоимостью уборки. Диагностические показатели – ожидание комбайна, время транспортного цикла, загрузка приемки, простой сушилки. Цифровая система должна давать именно эти причинные показатели, а не только общее количество рейсов или гектаров.

Для оценки цифрового процесса полезен показатель доли своевременно обработанных отклонений:

$$K_{\text{реак}} = \frac{N_{\text{срок}}}{N_{\text{откл}}} \times 100\% \quad (6.5)$$

$K_{\text{реак}}$ – коэффициент своевременной реакции;

$N_{\text{срок}}$ – число отклонений, по которым действие выполнено в нормативный срок;

$N_{\text{откл}}$ – общее число подтвержденных отклонений.

Рост $K_{\text{реак}}$ свидетельствует о сокращении информационного ожидания, но его нужно сопоставлять с качеством самого решения.

Цифровизация создает новые риски, которые должны быть включены в проект бережливой трансформации. Первый – технологическая зависимость от связи. Если критическая операция требует постоянного облачного доступа, хозяйство должно иметь сценарий деградации: локальный режим, буферизацию данных и ручное управление. Второй – несовместимость устройств и форматов. Отсутствие открытых интерфейсов повышает стоимость интеграции и создает зависимость от одного поставщика.

Третий риск – кибербезопасность. Подключение машины, насоса или системы климат-контроля расширяет поверхность атаки. Базовые принципы включают идентификацию устройства, управление доступом, безопасное обновление, защиту данных и журналирование. Для закупки IoT-оборудования эти требования должны включаться в техническое задание, а не добавляться после внедрения.

Четвертый риск связан с AI. ISO/IEC 23894:2023 дает рекомендации по управлению рисками искусственного интеллекта, а ISO/IEC 42001:2023 устанавливает требования к системе менеджмента AI. NIST AI RMF рассматривает управление рисками как структурированный процесс повышения надежности и доверия к AI-системам. Для аграрного предприятия практический вывод состоит в необходимости документировать назначение модели, данные, ограничения, ответственного, процедуру валидации и условия, когда решение должно быть передано специалисту.

Пятый риск – автоматизация плохого процесса. Если предприятие не устранило дублирование, лишние согласования и неверные справочники, ИТ-система может закрепить их в программной логике. Поэтому проектирование цифрового решения следует начинать с будущей карты процесса, а не с копирования текущего порядка действий в интерфейс. Это один из наиболее прямых мостов между Lean и цифровой трансформацией.

Шестой риск – экономика масштаба. FAO указывает, что экономическая устойчивость цифровых решений зависит от условий внедрения, масштаба, инфраструктуры и компетенций; малые хозяйства могут сталкиваться с более высокими барьерами доступа. Поэтому решение «покупать или получать как сервис» должно сравниваться по полным затратам жизненного цикла. Иногда совместная платформа, сервисная модель либо услуга подрядчика экономически рациональнее собственной инфраструктуры.

Седьмой риск – цифровой разрыв компетенций. После автоматизации доля ручной работы может уменьшиться, но потребность в понимании данных возрастает. Организации нужны сотрудники, способные отличить сигнал от факта, проверить единицы измерения, понять границы модели и сформулировать корректирующее действие. Если технология доступна только внешнему интегратору, внутренний цикл улучшений становится зависимым и медленным.

Выбор цифрового проекта можно осуществлять по двум координатам: потенциальный эффект и сложность внедрения. Высокий эффект при низкой сложности – приоритетный пилот. Высокий эффект и высокая сложность требуют поэтапной архитектуры. Низкий эффект при высокой сложности – кандидат на отказ. Такой фильтр предотвращает инвестиции в технологически привлекательные, но экономически слабые решения.

Цифровой Lean не предполагает максимальную автоматизацию. Оптимальна такая степень цифровизации, при которой стоимость дополнительной информации и автоматического решения ниже предотвращенной потери, а надежность процесса не ухудшается. В некоторых случаях дешевый визуальный стандарт или ручной чек-лист эффективнее сенсорной сети. В других – скорость процесса делает ручное наблюдение принципиально недостаточным. Выбор определяется фактической проблемой.

Итоговая архитектура должна обеспечивать замкнутый цикл PDCA. На этапе Plan используются факты и аналитика для постановки цели. До переводит решение в цифровое или физическое задание. Check автоматически сопоставляет план и факт. Act обновляет стандарт, пороги или алгоритм. Если цифровая система обслуживает только этап Check, организация получает красивую отчетность, но не обязательно непрерывное совершенствование.

Практические кейсы

Кейс 1. IoT-управление орошением как проект сокращения водных и энергетических потерь

Условие. Хозяйство орошает 500 га. Базовый сезонный расход воды составляет 2 800 м³/га. После установки датчиков влажности, локальной метеостанции и перехода от календарного режима к управлению по фактическому состоянию ожидается снижение подачи воды на 12 % без уменьшения урожайности. На перекачку 1 м³ расходуется 0,35 кВт·ч. Стоимость электроэнергии для учебного расчета – 7 руб./кВт·ч, прочая переменная стоимость подачи воды – 1,8 руб./м³. Ежегодные расходы на связь, обслуживание датчиков и платформу – 120 тыс. руб., инвестиции – 1,35 млн руб. Все данные условные.

Задание. Рассчитайте сезонную экономию воды и электроэнергии, определите валовой и чистый годовой экономический эффект проекта, а также простой срок окупаемости инвестиций. Сделайте вывод об эффективности IoT-управления орошением при условии сохранения урожайности.

Кейс 2. Предиктивное обнаружение технических отклонений по телеметрии

Условие. В хозяйстве эксплуатируются 12 энергонасыщенных тракторов. В период интенсивных работ каждая машина запланирована на 520 часов. По данным прошлых сезонов неплановые технические простои составляли 7,5 % запланированного времени. После внедрения телеметрии, мониторинга температурных и нагрузочных параметров, а также стандарта реакции на аномалии доля неплановых простоев снизилась до 4,5 %. Условная стоимость одного часа потерянного производственного времени – 6 200 руб. Годовая стоимость платформы и диагностики – 420 тыс. руб. Инвестиции в оборудование – 1,6 млн руб.

Задание. Рассчитайте сокращение неплановых простоев тракторов, количество высвобожденных машино-часов, валовой и чистый годовой экономический эффект, а также простой срок окупаемости инвестиций. Сделайте вывод об эффективности предиктивного мониторинга.

Задания для самостоятельной работы

Задание 1. Сокращение цифрового времени цикла

В хозяйстве данные о простое техники передаются оператором диспетчеру в среднем через 22 мин, вводятся в систему еще 8 мин, решение механика формируется за 35 мин, прибытие к машине занимает 25 мин. После автоматической телеметрии время обнаружения и передачи сокращается до 3 мин, ввод исключается, время решения – до 18 мин, прибытие остается 25 мин. Рассчитайте цифровой цикл до и после проекта и процент его сокращения. Определите, какая стадия становится новым узким местом.

Задание 2. Машинное зрение и точечная обработка

На 1 600 га применяется сплошная обработка с нормой рабочего раствора 180 л/га. По результатам пилота система машинного зрения позволяет перейти к локальному внесению на 38 % площади, сохранив контроль сорной растительности. Стоимость приготовления и внесения 1 л рабочего раствора условно равна 12 руб. Дополнительные эксплуатационные расходы системы – 460 тыс. руб./сезон. Рассчитайте физическое сокращение объема, валовой и чистый эффект. Перечислите показатели, которыми необходимо подтвердить отсутствие ухудшения агрономического результата.

Задание 3. Оценка качества прогнозной модели

Для пяти полей фактическая урожайность составила 42, 38, 51, 47 и 44 ц/га, прогноз – 40, 41, 49, 43 и 46 ц/га. Рассчитайте MAE. Затем определите абсолютную ошибку прогноза валового сбора, если площади полей соответственно 280, 320, 250, 300 и 350 га. Сформулируйте, для каких управленческих решений такой прогноз может быть пригоден и для каких требуется более высокая точность.

Задание 4. Проектирование цифровой панели Lean-KPI

Для уборочного потока предложено 14 показателей: убранная площадь, урожайность, положение комбайнов, расход топлива, количество рейсов, среднее ожидание комбайна, среднее ожидание автомобиля, загрузка приемки, влажность зерна, скорость движения, число сообщений диспетчеру, стоимость топлива, число работников, температура воздуха. Сформируйте панель операционного уровня из 5–7 показателей. Для каждого определите источник, период обновления, порог отклонения и стандартную реакцию. Обоснуйте, какие показатели следует оставить для аналитического отчета, но не выводить на оперативную панель.

Задание 5. Отбор цифрового проекта и оценка рисков

Предприятие рассматривает три инициативы: А – датчики температуры в зернохранилище, инвестиции 900 тыс. руб., ожидаемое снижение ежегодных потерь 700 тыс. руб.; Б – единая платформа интеграции телематики и ERP, инвестиции 4,8 млн руб., ожидаемое снижение трудоемкости и простоев 1,6 млн руб./год; В – цифровой двойник производственного комплекса, инвестиции 12 млн руб., экономический эффект пока не подтвержден. Составьте матрицу «эффект – сложность – риск данных – зависимость от поставщика». Определите очередность пилотов. Объясните, почему проект В нельзя обосновать только технологической перспективностью.

Вопросы для самопроверки

1. Чем Agriculture 4.0 отличается от автоматизации отдельных сельскохозяйственных операций?
2. Почему для цифрового Lean необходимо измерять время от возникновения события до корректирующего действия?
3. Какие виды цифровых потерь могут возникать при наличии нескольких несвязанных информационных систем?
4. Чем цифровой двойник отличается от статичной цифровой карточки объекта или панели KPI?
5. Как распределяются функции между сенсорным, коммуникационным, аналитическим и управленческим уровнями IoT-системы?
6. В каких задачах edge computing предпочтительнее исключительно облачной обработки?
7. Как ложноположительные и ложноотрицательные сигналы AI влияют на экономику процесса?
8. Почему высокое качество прогнозной модели не гарантирует высокого экономического эффекта?
9. В чем функционально различаются ERP, MES-подобный операционный уровень и FMIS?
10. Какие требования необходимо выполнить, чтобы цифровая панель стала инструментом визуального управления, а не просто отчетом?
11. Какие риски создают низкое качество данных, vendor lock-in и нестабильная связь?
12. Почему цифровую трансформацию целесообразно начинать с будущей карты процесса, а не с автоматизации существующего порядка действий?

Выводы по главе

Agriculture 4.0 представляет собой переход от локальной автоматизации к управлению взаимосвязанным физико-цифровым процессом. Для бережливого производства принципиально замкнуть цикл от измерения к действию. Цифровая

инфраструктура создает ценность только тогда, когда сокращает информационное ожидание и помогает устранить измеримую производственную потерю.

IoT, телеметрия, машинное зрение, беспилотные системы, Big Data и искусственный интеллект расширяют наблюдаемость процессов и позволяют переходить от периодического контроля к управлению по фактическому состоянию. Одновременно возрастает значение качества данных, калибровки, интероперабельности и правил реакции. Автоматизация некачественного информационного потока ускоряет воспроизводство ошибки.

Цифровой двойник следует рассматривать как динамическую систему представления и анализа объекта, а не как маркетинговое название любой визуализации. Переход к предиктивным и прескриптивным функциям целесообразен после стабилизации идентификации, первичных данных и стандартов процесса. Эта последовательность соответствует Lean-принципу: сначала сделать отклонение видимым и устранить первопричину, затем закреплять улучшение технологиями.

ERP, FMIS, операционные системы и аналитические платформы должны образовывать сквозной информационный поток от плана до факта и экономического результата. Ключевой показатель цифровой зрелости – не число систем, а уменьшение ручных интерфейсов, времени реакции и несогласованности данных.

Кибербезопасность, риски AI, зависимость от поставщика, связь и компетенции должны оцениваться одновременно с экономическим эффектом. В результате цифровой Leap представляет собой дисциплину выбора достаточной, а не максимальной цифровизации: решение должно обеспечивать требуемую точность и скорость управления при приемлемой стоимости и риске.

ГЛАВА 7. БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ESG И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ АГРАРНОГО БИЗНЕСА

7.1. Взаимосвязь Leap, ресурсосбережения и ESG-принципов

ESG-подход целесообразно рассматривать как систему управленческих факторов. Компонент E (environmental) охватывает воздействие на климат, ресурсы, воду, почвы, биоразнообразие, загрязнение, отходы и другие экологические аспекты. Компонент S (social) включает безопасность и здоровье работников, условия труда, развитие компетенций, права человека, взаимодействие с местными сообществами и иные социальные воздействия. Компонент G (governance) связан с распределением ответственности, внутренним контролем, этикой, прозрачностью, качеством данных, управлением рисками и подотчетностью органов управления. В 2024 г. ISO выпустила IWA 48:2024, содержащую рамку внедрения ESG-принципов и ориентированную на согласованность управления, измерения и отчетности с существующими системами.

Для аграрных организаций отраслевую конкретизацию дает GRI 13: Agriculture, Aquaculture and Fishing Sectors 2022. В январе 2026 г. опубликована версия 1.1, согласованная с обновленными стандартами по биоразнообразию, климату и энергии. GRI 13 указывает на широкий круг потенциально существенных тем, характерных для выращивания сельскохозяйственных культур и животноводства: климатическое воздействие, адаптацию, биоразнообразие, состояние почв, использование пестицидов, водные ресурсы, продовольственную безопасность, благополучие животных, условия труда, местные сообщества и ответственность цепочки поставок. Это важно для Leap: перечень потерь должен дополняться перечнем воздействий, поскольку снижение затрат внутри предприятия может сопровождаться переносом воздействия за его границы.

Стандарты IFRS S1 и IFRS S2 имеют иной фокус. IFRS S1 требует раскрывать риски и возможности, связанные с устойчивостью, если они способны влиять на перспективы организации и решения поставщиков капитала; IFRS S2 конкретизирует требования применительно к климату. GRI, напротив, ориентирован прежде всего на воздействие самой организации на экономику, окружающую среду и людей. В учебной практике это различие удобно формулировать как два вопроса: «как деятельность предприятия влияет на устойчивое развитие?» и «как факторы устойчивости влияют на экономические перспективы предприятия?». Для зрелой системы управления оба направления анализа дополняют друг друга.

Leap связывается с ESG через физическую природу потерь. Излишняя обработка почвы – это не только лишний технологический шаг, но и расход топлива, машинного времени, возможное уплотнение почвы и выбросы.

Избыточный запас кормов или удобрений – замороженный оборотный капитал и одновременно риск порчи, утечки либо списания. Ожидание транспорта при уборке увеличивает время цикла и может повышать количественные и качественные потери урожая. Повторная мойка из-за ошибки первой операции расходует воду, электроэнергию, моющие средства и рабочее время. Поэтому экологическая составляющая часто является материальным продолжением классической muda.

Американское Агентство по охране окружающей среды в Lean & Environment Toolkit прямо предлагает использовать картирование потока создания ценности, kaizen и 5S для выявления потерь воды, энергии и материалов. Для аграрного предприятия это означает расширение карты потока: наряду со временем, запасами и производительностью на карту наносятся ключевые материальные и энергетические потоки. В результате операция оценивается сразу в нескольких измерениях: создает ли она ценность, сколько ресурса потребляет, какое воздействие формирует и каким риском сопровождается.

Связь Lean и ESG не является линейной. Снижение единичной ресурсоемкости может сопровождаться ростом общего объема производства, и тогда абсолютное потребление ресурса не сокращается. Например, расход топлива на тонну продукции снизился на 8 %, но производство выросло на 15 %; предприятие стало эффективнее, однако общий расход топлива мог увеличиться. Поэтому ESG-оценка должна содержать как интенсивностные показатели на единицу результата, так и абсолютные значения. Это особенно важно для воды, энергии, выбросов и отходов.

Второе ограничение связано с переносом воздействия. Если предприятие сокращает собственный запас материалов, но требует от поставщика держать дополнительный резерв и выполнять более частые срочные доставки, часть потерь просто перемещается вверх по цепочке. Аналогичная ситуация возникает, когда снижение затрат достигается привлечением подрядчиков без проверки безопасности труда или экологических практик. Поэтому бережливая цепочка поставок должна оцениваться по совокупному потоку, а не только по границе юридического лица.

Третье ограничение – устойчивость системы. Принцип Just-in-Time не означает нулевой запас в условиях сезонности и высокой неопределенности. Для семян, средств защиты растений, критических запасных частей и кормов отсутствие обоснованного резерва может привести к значительно большей потере. ESG-логика добавляет вопрос устойчивости: насколько процесс способен продолжать работу при погодных аномалиях, нарушениях поставок, энергетических ограничениях и других стрессах. Следовательно, оптимум находится между избыточностью и уязвимостью.

Четвертое ограничение относится к социальной сфере. Lean предполагает уважение к людям и использование знаний работников для улучшения процессов. Если на практике внедрение сводится к увеличению норм выработки и сокращению численности без анализа безопасности и нагрузки, такая трансформация противоречит собственным принципам бережливого управления. Экономия человеко-часов должна рассматриваться как высвобождение ресурса для более ценной работы, профилактики, обучения и улучшений, а не как автоматическое основание для сокращения персонала.

Поэтому управленческая модель Lean-ESG строится в четыре шага. Сначала диагностируется процесс и физическая потеря. Затем определяется связанный ESG-аспект: ресурс, воздействие, риск или социальное условие. После этого выбирается показатель и граница измерения. Только затем рассчитываются финансовый и нефинансовый эффекты. Такая последовательность защищает от ситуации, когда организация сначала выбирает привлекательный ESG-показатель, а затем пытается подобрать под него разрозненные инициативы.

Таблица 7.1 – Взаимосвязь инструментов Lean и ESG-результатов

Lean-инструмент	Операционная задача	Возможный ESG-эффект	Ключевое ограничение
VSM	Выявить ожидания, запасы, повторные операции и узкие места	E: материальные и энергетические потоки; S: нагрузка и перемещения; G: прозрачность процесса	Карта должна включать не только время и деньги, но и физические потоки
5S и визуальное управление	Сократить поиск, ошибки, лишние движения	S: эргономика и безопасность; G: видимость стандарта	5S не заменяет оценку профессиональных рисков
Стандартизированная работа	Снизить вариабельность и дефекты	S: предсказуемость и обучение; G: воспроизводимость контроля	Стандарт должен предусматривать безопасное исключение и эскалацию
Kaizen/PDCA	Организовать постоянные улучшения	E/S: последовательное снижение воздействий; G: вовлечение и доказуемость решений	Количество идей не равно эффекту; нужен контроль результата
TPM	Предупреждать отказы и простои	E: меньше аварийных потерь и перерасхода; S: снижение аварийных ситуаций	Не отменяет регламентов изготовителя и требований безопасности
Pull/Kanban	Управлять запасом по	E: меньше порчи и списаний; G:	В аграрном производстве нужен

	фактической потребности	прозрачные правила пополнения	страховой и сезонный резерв
Рока-yoke	Предупреждать ошибку в источнике	Е: меньше брака и повторного расхода; S: снижение риска опасной ошибки	Не заменяет профессиональную компетенцию и контроль критических операций

Для количественной связи операционной и ESG-эффективности удобно использовать показатели ресурсоемкости. Общая форма показателя проста: объем потребленного ресурса относится к единице полезного результата. Для растениеводства результатом может быть тонна товарной продукции, гектар выполненной операции или выручка; для животноводства – тонна молока, килограмм прироста или условная голова. Выбор знаменателя должен соответствовать цели анализа и сохраняться при сравнении периодов.

$$R_{\text{инт}} = \frac{Q_{\text{рес}}}{Q_{\text{рез}}} \quad (7.1)$$

$R_{\text{инт}}$ – интенсивность использования ресурса;

$Q_{\text{рес}}$ – расход воды, энергии, топлива, материалов или другого ресурса;

$Q_{\text{рез}}$ – объем полезного результата.

$$\Delta R = R_0 - R_1 \quad (7.2)$$

ΔR – изменение ресурсоемкости;

R_0 – ресурсоемкость до улучшения;

R_1 – ресурсоемкость после улучшения.

Для ESG-управления важна система базовых линий. Если компания сообщает, что расход воды снизился на 12 %, необходимо понимать относительно какого периода, при каком объеме производства, на каких объектах и по какой методике измерения. Без фиксированной базы один и тот же результат можно представить по-разному. Поэтому каждый показатель должен иметь единицу измерения, границу, источник данных, период, владельца, правило верификации и целевой диапазон.

Система раскрытия не должна подменять систему управления. GRI 13, IFRS S1/S2, IWA 48 и национальные рекомендации различаются назначением, пользователями и требованиями; организация выбирает применимые рамки исходя из статуса, рынка капитала, ожиданий заинтересованных сторон и регуляторной среды. В России Банк России развивает методическую базу раскрытия устойчивой информации, стратегий устойчивого развития и учета ESG-факторов. При этом сам факт подготовки отчета не создает устойчивости: операционный результат возникает в производственном потоке, а отчетность должна достоверно его отражать.

По состоянию на август 2026 г. полезно учитывать переход в стандартах GRI: GRI 102: Climate Change 2025 и GRI 103: Energy 2025 уже опубликованы, однако обязательная дата их применения установлена на 1 января 2027 г.; раннее применение допускается. Для учебного пособия это означает, что студент должен отличать опубликованный стандарт от стандарта, уже вступившего в действие. Аналогично изменения IFRS S2, выпущенные в декабре 2025 г., становятся обязательными для отчетных периодов, начинающихся 1 января 2027 г., при разрешенном досрочном применении.

Итоговая логика подраздела состоит в том, что Lean дает механизм изменения процесса, ESG – систему факторов и показателей, а устойчивое развитие задает долгосрочный контекст. Наиболее убедительный результат возникает там, где одно и то же улучшение можно проследить от гемба до отчета: выявлена потеря, изменен стандарт работы, подтвержден физический результат, рассчитан экономический эффект и определен соответствующий ESG-показатель.

7.2. Экологические эффекты бережливого аграрного производства

Экологический эффект Lean в сельском хозяйстве начинается с материального баланса. Любая продукция требует земли, воды, энергии, семян, кормов, удобрений, средств защиты растений, упаковки и других ресурсов. Часть входящего потока превращается в товарный результат, часть – в технологически неизбежную побочную продукцию, а часть теряется из-за дефектов процесса. Чем точнее организация разделяет эти компоненты, тем лучше она видит экологические и экономические резервы. Такой подход близок к учету стоимости материальных потоков MFCA по ISO 14051:2011, где материальные потоки и запасы прослеживаются в физических единицах и связываются с затратами.

Применительно к земле бережливость означает не «экономии гектаров», а повышение качества использования земельного ресурса без ухудшения его долгосрочных функций. Лишние проходы техники, необоснованные перекрытия, нарушение постоянной технологической колеи, работа по переувлажненной почве и неравномерное внесение могут увеличивать уплотнение и неоднородность поля. Поэтому в карте потока растениеводства необходимо фиксировать число проходов, долю перекрытий, фактическую ширину захвата и маршруты. При этом экологический результат нельзя выводить только из меньшего расхода топлива: состояние почвы требует самостоятельного контроля.

Биоразнообразие и состояние экосистем также не сводятся к производственной эффективности. GRI 101: Biodiversity 2024, вступивший в силу для отчетности с января 2026 г., усиливает внимание к местоположению и воздействию организаций на биоразнообразие. Для аграрного бизнеса Lean может уменьшать часть давления через точное внесение и предотвращение

утечек, но вопросы изменения землепользования, сохранения местообитаний или воздействия на виды требуют специальной экологической оценки. Это пример того, где Lean является инструментом исполнения, а не полной методологией устойчивости.

Водные ресурсы дают более прямую связь с бережливым управлением. Потери возникают из-за утечек, неэффективного графика орошения, неверной настройки дождевальной техники, избыточной промывки, повторных санитарных операций или отсутствия контроля расхода. GRI 303: Water and Effluents 2018 рассматривает не только объем забора воды, но и характер воздействия на водные ресурсы. Поэтому для предприятия в вододефицитном регионе одинаковая экономия в кубометрах может иметь большее значение, чем для предприятия с иной водной ситуацией.

Водный баланс полезно строить по схеме «забор – потребление – возврат/сброс – потери». При орошении часть воды является полезным технологическим потреблением, поэтому целью не может быть абсолютная минимизация. Lean-диагностика ищет расход сверх агрономически обоснованной потребности. Для мойки, охлаждения и технических процессов дополнительно рассматриваются повторное использование, замкнутые циклы и устранение утечек, если это допустимо санитарными, ветеринарными и технологическими требованиями.

$$W_{\text{инт}} = \frac{W}{Q} \quad (7.3)$$

$W_{\text{инт}}$ – водоемкость результата;

W – объем потребленной воды;

Q – объем продукции или другой полезный результат.

При оценке следует отдельно объяснять изменение урожайности, состава культур и площади орошения.

$$\Delta W = W_0 - W_1 \quad (7.4)$$

ΔW – абсолютное сокращение водопотребления;

W_0 – водопотребление до улучшения;

W_1 – водопотребление после улучшения.

Энергия в аграрном предприятии потребляется в виде топлива, электроэнергии, тепла и других энергоносителей. Основные Lean-резервы связаны с исключением лишних проходов техники, холостого хода, ожидания, неэффективных маршрутов, некорректной настройки двигателей, утечек сжатого воздуха, неоптимальной работы насосов, вентиляции, холодильного и сушильного оборудования. ISO 50001:2018 задает системный подход к улучшению энергетических характеристик, включая энергоэффективность, использование и потребление энергии. Lean дополняет такую систему методами поиска потерь непосредственно в потоке.

В 2026 г. актуальной редакцией стандарта экологического менеджмента является ISO 14001:2026, заменившая ISO 14001:2015. Для Lean-проектов это существенно: экологический аспект должен рассматриваться в системе управления, а не как побочный бонус от снижения затрат. Если kaizen снижает расход химического вещества, организация должна оценить не только стоимость, но и связанные экологические обязательства, аварийные риски, хранение, отходы и изменение воздействия.

Показатели энергоемкости рассчитываются аналогично другим ресурсным коэффициентам. Для трактора можно использовать литры топлива на гектар или на тонну продукции; для холодильного склада – кВт·ч на тонно-сутки хранения; для молочного комплекса – кВт·ч на тонну молока. Важно выбирать показатель, который связан с управляемой причиной. Если сушилка обрабатывает зерно с разной исходной влажностью, простое сравнение кВт·ч/т между годами способно дать ложный вывод; необходимо учитывать технологическую нагрузку.

Связь энергии и климата устанавливается через выбросы парниковых газов. В учебных расчетах выбросы от потребления ресурса могут оцениваться как произведение активности на коэффициент выбросов, но коэффициент должен быть взят из официального или применимого источника для конкретной страны, топлива, электроэнергии и методики. Нельзя использовать случайный коэффициент из интернет-публикации, а затем представлять результат как отчетный показатель.

$$GHG = AD \times EF \quad (7.5)$$

GHG – расчетные выбросы парниковых газов;

AD – данные о деятельности, например литры топлива или кВт·ч;

EF – применимый коэффициент выбросов.

Для корпоративной отчетности границы Scope 1, Scope 2 и иных категорий определяются принятой организацией методикой и требованиями применимой системы раскрытия.

Сокращение продовольственных потерь одновременно имеет экономическое, экологическое и социальное измерение. FAO указывает, что потери и отходы продовольствия означают также потерю использованных для производства ресурсов – земли, воды, энергии и других материальных входов. С Lean-позиции задача начинается с локализации места и причины потери: уборка, транспорт, ожидание приемки, сушение, сортировка, хранение или переработка. Простое списание процента потерь в конце сезона не позволяет выбрать корректирующее действие.

Экологический анализ потери продукции должен учитывать «встроенные» ресурсы. Если тонна картофеля утрачена при хранении, предприятие теряет не только рыночную стоимость продукции; без полезного результата были использованы семенной материал, удобрения, вода, топливо, рабочее время и

энергия холодильного или вентиляционного оборудования. Это объясняет, почему предотвращение потери часто приоритетнее переработки отхода: на более поздней стадии уже невозможно вернуть ресурсы, потраченные на выращивание и логистику.

Циркулярная экономика расширяет задачу после предотвращения потерь. Побочная продукция и неизбежные остатки могут становиться сырьем для следующего процесса: органическим удобрением, субстратом, кормовым компонентом, источником биогаза или иным продуктом – при условии соответствия законодательству, ветеринарным, санитарным и технологическим требованиям. FAO рассматривает циркулярную биоэкономику как направление, в котором ценность биологических ресурсов сохраняется дольше, а потоки отходов получают новое применение. Но «утилизация с пользой» не должна оправдывать потери, которые экономически и экологически рациональнее предотвратить в источнике.

Практически полезна иерархия решений: сначала предотвращение образования потери; затем сохранение продукта в пищевой цепочке, если это возможно и безопасно; далее – использование побочной продукции и материалов в других полезных процессах; после этого – восстановление энергии или питательных веществ; и только для остатка, не имеющего приемлемого применения, рассматривается удаление. Конкретная последовательность зависит от вида сырья и требований законодательства, поэтому в учебном кейсе нельзя автоматически переносить одно решение на любую сельскохозяйственную продукцию.

MFCA может усиливать экономическую аргументацию экологических проектов. В традиционном учете стоимость списанного продукта видна, но не всегда видно, что вместе с ним были затрачены энергия, труд и системные издержки. MFCA прослеживает материальный поток в физическом и стоимостном выражении и тем самым показывает стоимость «негативного продукта» – той части входа, которая не стала полезным выходом. Для аграрной организации это особенно полезно при оценке потерь сырья, кормов, упаковки и промежуточных продуктов.

$$C_{\text{пот}} = C_{\text{мат,пот}} + C_{\text{эн,пот}} + C_{\text{сист,пот}} + C_{\text{обр}} \quad (7.6)$$

Спот – оцененная стоимость негативного материального выхода;

Смат,пот – стоимость потерянного материала;

Сэн,пот – стоимость энергии, относимой к потерянной части потока;

Ссист,пот – доля системных затрат;

Собр – затраты на обращение с остатком.

Состав элементов зависит от принятой модели учета и должен быть раскрыт.

При оценке экологического эффекта важно избегать двойного счета. Если сокращение топлива уже учтено как денежная экономия и отдельно переведено в снижение выбросов, эти два результата описывают разные измерения одного физического изменения и могут приводиться параллельно. Но нельзя суммировать денежную стоимость топлива и условную денежную оценку выбросов без ясной методики. Аналогично нельзя одновременно считать предотвращенную потерю продукции и «экономия» всех ее входов, если стоимость входов уже включена в себестоимость продукта.

Еще одна методическая проблема – выбор границ. Lean-проект может снижать воздействие на одном этапе и увеличивать на другом. Например, более частая доставка сокращает складские потери, но увеличивает транспорт. Охлаждение может снизить потери продукции, но повысить потребление энергии. Для крупных решений полезно применять жизненный цикл по ISO 14040/14044 либо хотя бы проводить упрощенный анализ границ «до – после», чтобы убедиться, что улучшение не является локальным переносом воздействия.

Экологическая результативность бережливого аграрного производства поэтому определяется не количеством «зеленых» мероприятий, а физически подтверждаемым сокращением избыточного потребления и предотвращением потерь при сохранении необходимой технологической функции. Чем ближе измерение к месту возникновения потери и чем яснее граница расчета, тем надежнее связь между Lean и ESG.

7.3. Социальная и управленческая составляющие бережливой трансформации

Социальная составляющая Lean начинается с безопасности труда. Сельское хозяйство включает работу с мобильной техникой, животными, химическими веществами, высотой, электричеством, шумом, вибрацией, пылью, температурными нагрузками и сезонной интенсивностью работ. Конвенция МОТ № 184 о безопасности и гигиене труда в сельском хозяйстве ориентирована на предупреждение несчастных случаев и вреда здоровью, связанных с работой. ISO 45001:2018 задает системную рамку управления рисками охраны труда и улучшения показателей безопасности. Следовательно, ни одно Lean-улучшение не может считаться успешным, если экономия времени достигается за счет обхода безопасной процедуры.

В практической диагностике полезно объединять диаграмму спагетти и оценку эргономических рисков. Сокращение маршрута оператора уменьшает непроизводительные движения, но важнее определить, какие из движений связаны с переноской тяжестей, неудобной позой, многократными подъемами на технику или переходом через опасную зону. Иногда небольшая перестановка инвентаря дает одновременно экономию времени и снижение нагрузки. Это пример настоящей синергии Lean и социальной устойчивости.

5S также имеет социальное измерение. Маркировка мест хранения, отделение исправного от неисправного, свободные проходы, стандарт размещения инструмента и визуальная индикация опасности уменьшают поиск и вероятность ошибочного действия. Однако добавление «Safety» к 5S не заменяет формальную систему охраны труда: риск должен быть идентифицирован, оценен и управляем в соответствии с применимыми требованиями. Lean помогает сделать безопасное состояние визуальным и ежедневно поддерживаемым.

GRI 403: Occupational Health and Safety 2018 требует при существенности темы раскрывать информацию о системе управления охраной труда, вовлечении работников, обучении, травмах и профессиональных заболеваниях. Для бережливой системы особенно интересны опережающие показатели: число выявленных опасностей, срок закрытия корректирующих мероприятий, доля работников, прошедших обучение, количество наблюдений безопасного поведения. Запоздавающие показатели травматизма необходимы, но они сообщают о проблеме после наступления события.

Система предложений работников – один из ключевых мостов между Kaizen и ESG. Человек, ежедневно выполняющий операцию, видит микропростои, неудобные движения, потенциально опасные действия и причины дефектов раньше руководителя. Но система теряет доверие, если идеи собираются, а обратной связи нет. Поэтому измерять необходимо не только число предложений, но и время ответа, долю рассмотренных, долю реализованных и подтвержденный результат. Большой поток нерассмотренных предложений является информационным запасом и признаком слабого governance.

Вовлечение отличается от передачи ответственности вниз. Работник может участвовать в анализе проблемы и предлагать улучшение, но решения, связанные с технологическими нормами, ветеринарией, применением агрохимикатов, безопасностью или инвестициями, остаются в пределах профессиональных полномочий. Зрелая система четко определяет, что сотрудник может изменить самостоятельно, что требует согласования и какое отклонение должно быть немедленно эскалировано.

Развитие Lean-компетенций следует строить по ролям. Оператору нужны навыки стандартизированной работы, визуального контроля, фиксации отклонений и простого анализа причины. Руководителю участка – VSM, PDCA, АЗ, балансировка потока и расчет эффекта. Менеджеру проекта – оценка инвестиций, работа с межфункциональными конфликтами и изменение стандартов. Руководству – постановка целей, выбор портфеля улучшений и управление системой показателей. Универсальное обучение всех одним набором инструментов обычно дает слабый перенос в практику.

Матрица компетенций позволяет связать обучение и устойчивость процесса. Для каждой критической операции фиксируются сотрудники и уровень

владения: ознакомлен, выполняет под контролем, выполняет самостоятельно, способен обучать. Такая карта показывает кадровые узкие места. Если только один механизм способен выполнять точную настройку оборудования или один оператор способен восстановить цифровую систему после сбоя, процесс уязвим даже при высокой текущей производительности.

Социальный эффект не следует сводить к денежной оценке. Снижение травматизма, уменьшение физической нагрузки или повышение предсказуемости смен имеют самостоятельную ценность. Денежные показатели – стоимость потерянного рабочего времени, простоев, компенсаций или текучести – помогают экономическому обоснованию, но не заменяют оценку человеческих последствий. Это особенно важно, чтобы управленческий расчет не создавал впечатления, будто безопасность оправдана только при положительном ROI.

$$K_{\text{част}} = \frac{N_{\text{соб}}}{H} \times K \quad (7.7)$$

$K_{\text{част}}$ – коэффициент частоты учитываемых событий;

$N_{\text{соб}}$ – число событий за период;

H – отработанные человеко-часы;

K – выбранная постоянная масштаба.

При сравнении периодов масштаб, определения и правила учета должны быть одинаковыми. Снижение зарегистрированных событий нельзя автоматически считать улучшением, если одновременно ухудшилась культура сообщения о происшествиях и опасностях.

$$K_{\text{внедр}} = \frac{N_{\text{внедр}}}{N_{\text{прин}}} \times 100\% \quad (7.8)$$

$K_{\text{внедр}}$ – доля реализованных предложений;

$N_{\text{внедр}}$ – число реализованных предложений;

$N_{\text{прин}}$ – число предложений, принятых к рассмотрению.

Показатель следует дополнять сроком обратной связи и фактическим эффектом, иначе организация может стимулировать реализацию простых, но малозначимых идей.

Компонент G определяет устойчивость самой системы улучшений. Если ответственность за ESG распределена только между специалистами по отчетности, производственные подразделения не видят связи с ежедневной работой. Если Lean-проект принадлежит только производству, экологические и социальные эффекты могут быть не измерены. Поэтому управление должно соединять владельца процесса, функционального эксперта, финансовую службу и владельца данных. Для значимых инициатив полезна матрица RACI: кто отвечает за результат, кто выполняет действия, кого консультируют и кого информируют.

Управленческая прозрачность включает прослеживаемость решения. Для каждого существенного проекта должна сохраняться цепочка: проблема → базовая линия → анализ причины → выбранная мера → ответственный → затраты → фактический результат → изменение стандарта. АЗ-отчет является удобным носителем такой логики. Если через год невозможно восстановить, почему был выбран показатель и откуда взялось базовое значение, ESG-данные становятся трудно проверяемыми.

Отдельный аспект governance – закупки и цепочка поставок. OECD и FAO разработали руководство по ответственным сельскохозяйственным цепочкам поставок, содержащее риск-ориентированный подход *due diligence*: интеграцию политики, выявление и оценку рисков, предотвращение или смягчение воздействия, проверку результатов и коммуникацию. Для Lean это означает, что поставщик оценивается не только по цене и времени поставки. Критичными становятся прослеживаемость, надежность, экологические и социальные риски, способность поставщика участвовать в улучшении общего потока.

Сокращение числа поставщиков может уменьшить административные потери и вариабельность, но одновременно повысить концентрационный риск. Жесткий Kanban с частыми малыми поставками может улучшить внутренний склад, но увеличить транспортную нагрузку. Передача опасной операции подрядчику может снизить собственный показатель травматизма без снижения фактического риска цепочки. Поэтому governance должен предотвращать «экспорт потерь» за организационную границу.

Качество ESG-данных становится самостоятельным объектом Lean. Дублирование показателей в нескольких таблицах, ручной перенос, разные определения одного KPI и запоздалое согласование создают информационные потери. Цифровой Lean из главы 6 позволяет строить единый источник данных, но управленческая ответственность остается обязательной: система не определяет сама, что является существенным, какие границы верны и кто подтверждает изменение методики.

Банк России в модельной методологии ESG-рейтингов обращает внимание на неоднородность природы E-, S- и G-компонентов и не рекомендует механически превращать их в единый интегральный показатель без достаточных оснований. Это полезно и для внутренней панели аграрного предприятия. Сводный «ESG-балл 82 из 100» выглядит удобно, но способен скрыть критическую проблему безопасности за хорошими показателями энергопотребления. Для управления лучше сохранять профиль показателей и пороговые значения по существенным темам.

Система показателей должна использовать пороговую логику. Рост производительности не считается улучшением, если одновременно превышен допустимый порог травматизма, дефектов или экологического воздействия. Это можно оформить как «ограничители» проекта: цель по производительности

достигается только при соблюдении условий безопасности, качества и ресурсоемкости. Такой подход предотвращает локальную оптимизацию и соответствует системной природе Lean.

Прозрачность также требует честного отношения к неопределенности. Если экологический эффект рассчитан по условному коэффициенту, это должно быть явно указано; если выборка мала – нельзя делать сильный вывод; если изменение одновременно вызвано погодой и проектом – результат следует корректировать или обозначать ограничение. ESG-управление становится надежным не тогда, когда все показатели выглядят положительно, а когда организация умеет объяснить происхождение данных, границы и причины отклонений.

Социальная и управленческая зрелость бережливой трансформации проявляется в поведении организации после выявления проблемы. Ошибка используется как источник обучения, опасность – как повод устранить причину, предложение – как вход в PDCA, а показатель – как средство принятия решения. Если же метрики применяются преимущественно для наказания, сотрудники начинают скрывать дефекты и происшествя, что разрушает и Lean, и ESG одновременно.

Практические кейсы

Кейс 1. Lean–ESG оценка проекта снижения водо- и энергоемкости орошения

Условие. Овощеводческое предприятие орошает 600 га. За базовый сезон на полив использовано 2 400 000 м³ воды. После картирования процесса, устранения утечек, корректировки графиков и внедрения управления по фактической потребности планируется снизить водопотребление до 2 040 000 м³ при сохранении товарного выпуска 18 000 т. Удельное потребление электроэнергии насосами – 0,42 кВт·ч/м³. Тариф для учебного расчета – 8,10 руб./кВт·ч. Дополнительные ежегодные затраты на обслуживание датчиков и контроль – 500 000 руб. Для иллюстрации климатического эффекта в условии задан учебный коэффициент 0,35 кг СО₂-экв./кВт·ч; он не является универсальным коэффициентом для отчетности.

Требуется рассчитать: абсолютную и относительную экономию воды; изменение водоемкости продукции; экономию электроэнергии; валовой и чистый экономический эффект по электроэнергии; условное сокращение выбросов, связанное только с уменьшением потребления электроэнергии.

Кейс 2. Социальный и управленческий эффект Kaizen-проекта на участке сортировки и упаковки

Условие. На участке после анализа диаграммы спагетти и рисков были перенесены расходные материалы, исключены пересечения маршрутов погрузчика и работников, введены стандарты пополнения тары и ежедневная пятиминутная проверка опасностей. До проекта за год зарегистрировано 12 травм с потерей рабочего времени при 400 000 отработанных человеко-часов; после проекта – 5 при 410 000 человеко-часов. Количество потерянных рабочих дней снизилось с 96 до 34. Для сравнения используется коэффициент частоты на 200 000 человеко-часов. Стоимость одного рабочего часа для учебного расчета – 620 руб., рабочий день – 8 часов. Все данные условные.

Рассчитайте коэффициент частоты травматизма до и после Kaizen-проекта, определите сокращение потерянных рабочих дней и его условную стоимостную оценку. Сделайте вывод о социальном и управленческом эффекте проекта.

Задания для самостоятельной работы

Задание 1. Матрица Lean–ESG растениеводческого предприятия

Хозяйство выявило пять проблем: перекрытия при внесении удобрений; 9 % холостого хода тракторов; утечки в системе орошения; повторный ручной ввод путевых листов; высокая доля перемещений работников склада. Для каждой проблемы определите вид потери Lean, компонент E/S/G, физический KPI, экономический показатель и возможный риск локальной оптимизации. Сформируйте приоритеты по принципу «значимость воздействия × управляемость причины».

Задание 2. Оценка водо- и энергоэффективности

До проекта предприятие использовало 1 850 000 м³ воды и 740 000 кВт·ч электроэнергии для производства 14 500 т продукции. После проекта – 1 610 000 м³ и 665 000 кВт·ч при выпуске 15 200 т. Рассчитайте абсолютные и удельные показатели, объясните различие между ними и определите, произошло ли улучшение одновременно по абсолютному воздействию и ресурсоемкости. Тариф электроэнергии – 7,90 руб./кВт·ч. Рассчитайте прямой эффект по энергии.

Задание 3. Потери продукции и циркулярная модель

Картофелехранилище принимает 8 000 т продукции. До улучшения коммерческие потери составляют 7,5 %, после внедрения мониторинга режима и FEFO – 4,8 %. Стоимость товарной продукции для учебной оценки – 24 000 руб./т. Из остаточного нетоварного потока 40 % можно направить на разрешенное полезное использование по цене 3 500 руб./т; затраты на сортировку и подготовку такого потока – 1 100 руб./т. Рассчитайте предотвращенную

потерю, прямой эффект от ее сокращения и дополнительный финансовый результат полезного использования остаточного потока. Объясните, почему приоритет должен оставаться за предотвращением потери, а не за максимизацией вторичного потока.

Задание 4. Безопасность и эргономика Leap-проекта

На складе 24 работника. До перепланировки один работник проходил в среднем 9,2 км за смену, после – 6,4 км. 210 рабочих дней в год, скорость ходьбы 4,5 км/ч, стоимость рабочего часа 510 руб. Рассчитайте высвобождаемое время и его условный стоимостный эквивалент. Затем составьте перечень не менее пяти факторов, которые необходимо проверить до утверждения проекта как социально положительного: ручная переноска, пересечение транспортных маршрутов, освещенность, высота размещения, аварийные проходы и др.

Задание 5. Проектирование Leap–ESG панели и системы ответственности

Сельскохозяйственная организация хочет контролировать воду, энергию, потери продукции, безопасность труда, предложения работников и риск критических поставщиков. Сформируйте панель из 8–10 KPI. Для каждого показателя задайте единицу, периодичность, источник данных, владельца, целевое значение или порог, правило реакции и способ проверки. Не используйте единый сводный ESG-балл. Объясните, какие показатели являются результатными, а какие – диагностическими.

Вопросы для самопроверки

1. Почему Leap, ESG и устойчивое развитие нельзя считать синонимами?
2. Каким образом классические потери Leap трансформируются в экологические и социальные воздействия аграрного предприятия?
3. Почему снижение ресурсоемкости не всегда означает снижение абсолютного экологического воздействия?
4. В чем состоит риск переноса потерь за границы предприятия при управлении запасами и поставщиками?
5. Какие показатели позволяют оценить рациональность использования воды и энергии в аграрном производстве?
6. Почему предотвращение потери сельскохозяйственной продукции обычно приоритетнее ее последующей утилизации или переработки?
7. Как связаны 5S, стандартизированная работа и безопасность труда и почему Leap-инструменты не заменяют систему охраны труда?
8. Какие показатели целесообразно использовать для оценки системы предложений работников?

9. Как распределяется ответственность между владельцем процесса, экологической функцией, охраной труда, финансами и владельцем данных в Lean-ESG проекте?

10. Какие требования к границам, базовой линии и качеству данных необходимы для доказуемости ESG-эффекта?

Выводы по главе

Бережливое производство создает основу для ESG-результатов через изменение физического процесса: предотвращение лишнего потребления воды, энергии и материалов, сокращение потерь продукции, снижение опасных и избыточных действий, повышение прозрачности и скорости реакции. Но положительный ESG-эффект должен измеряться отдельно; он не следует автоматически из факта применения Lean-инструмента.

Экологическая результативность требует одновременного контроля абсолютного воздействия и интенсивности на единицу результата. Для земли, воды, энергии, материалов и отходов необходимо фиксировать границы, базовые линии и технологические ограничения. Циркулярные решения дополняют Lean, но не заменяют предотвращение потери в источнике.

Социальная устойчивость бережливой трансформации определяется безопасностью, эргономикой, развитием компетенций и реальным вовлечением работников. Высвобождение времени должно использоваться для повышения ценности и надежности процесса; ускорение за счет риска, скрытого труда или снижения полноты регистрации происшествий не является Lean-улучшением.

Governance превращает отдельные проекты в управляемую систему. Для каждого KPI необходимы владелец, методика, источник, порог и правило реакции; для проекта – прослеживаемая цепочка от причины до подтвержденного эффекта. Отказ от непрозрачных сводных баллов в пользу профиля существенных показателей помогает сохранить управленческий смысл ESG.

Для аграрного бизнеса наиболее сильная интеграция Lean и ESG возникает тогда, когда экономический, экологический и социальный эффекты рассчитываются от одного и того же подтвержденного физического изменения. Такая логика формирует доказательную основу для инвестиционных решений, устойчивой отчетности и последующего масштабирования бережливых практик.

ГЛАВА 8. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТАМИ БЕРЕЖЛИВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В АПК

8.1. Система показателей эффективности бережливого производства

Система показателей Lean должна отвечать на два разных вопроса: улучшился ли процесс и создало ли это улучшение ценность для организации и потребителя. Первый вопрос относится к операционному уровню, второй – к экономическому и стратегическому. Если контролировать только итоговую прибыль, причины изменений останутся неясными; если ограничиться временем цикла и количеством предложений работников, невозможно определить вклад проекта в финансовый результат. Поэтому показатели формируют иерархию от физической потери к результату бизнеса.

На нижнем уровне находятся показатели потерь: минуты ожидания, километры лишних перемещений, литры перерасхода топлива, килограммы просыпей, процент перекрытий, число повторных операций, часы аварийных простоев. Они наиболее чувствительны к локальному изменению и позволяют быстро проверить гипотезу. Следующий уровень описывает поток: время цикла, lead time, пропускную способность, уровень запасов, ОЕЕ, выполнение такта или технологического графика, долю продукции, проходящей процесс без повторной обработки. Выше находятся показатели ресурсной и экономической эффективности: производительность труда, себестоимость, материало-, энерго- и ресурсоемкость, оборачиваемость запасов. Итоговый уровень связывает проект с прибылью, денежным потоком, качеством, надежностью поставки и ESG-целями.

Иерархия нужна для атрибуции результата. Если после стандартизации технического обслуживания длительность операции снизилась на 30 %, это еще не доказывает снижение себестоимости. Экономическая цепочка должна быть прослеживаемой: сокращение времени обслуживания → увеличение доступности техники в агротехническое окно → уменьшение вынужденных простоев агрегатов → снижение сверхурочной работы или предотвращение потери урожая → денежный эффект. Если один из переходов отсутствует, следует фиксировать операционный результат, не завышая финансовый эффект.

Производительность труда в учебных и управленческих расчетах целесообразно выражать как отношение полезного результата к затратам труда. В аграрном производстве денежная выработка на работника зависит от цен, структуры культур и инфляции, поэтому для Lean-проекта предпочтительны физические показатели: тонн продукции на человеко-час, гектаров обработки на машино-смену, голов обслуживания на работника, операций упаковки на час. Денежный показатель используется дополнительно, после приведения цен к сопоставимым условиям.

Для анализа себестоимости важно различать снижение физического потребления ресурса и перераспределение постоянных затрат. Если предприятие сократило простой оборудования, но фонд оплаты труда и амортизация в текущем периоде не изменились, полная бухгалтерская себестоимость может снизиться только при росте выпуска. С другой стороны, снижение расхода топлива, материалов, электроэнергии или услуг подрядчика непосредственно воздействует на переменные затраты. Поэтому паспорт эффекта должен указывать, какая статья затрат меняется и при каком условии экономия превращается в денежный поток.

Материалоемкость определяется отношением стоимости или физического объема материальных ресурсов к полезному выпуску. Для операционного контроля физическая форма обычно информативнее: килограммы семян на гектар, килограммы действующего вещества удобрений на тонну урожая, килограммы корма на единицу продукции, количество упаковки на тонну готовой продукции. Стоимостная форма удобна для агрегирования, но чувствительна к цене ресурса. Если цена удобрения выросла при неизменной норме внесения, стоимостная материалоемкость ухудшится без изменения процесса.

Энергоемкость строится аналогично. Ее можно рассчитывать отдельно по дизельному топливу, электроэнергии, газу и тепловой энергии или переводить ресурсы в общую энергетическую единицу. Для Lean-проекта обычно лучше сохранять отдельные натуральные показатели, поскольку механизм улучшения отличается. Снижение литров дизеля на гектар может быть связано с маршрутизацией и исключением перекрытий, а сокращение кВт·ч на тонну хранения – с настройкой вентиляции, изоляцией и режимом загрузки.

Продолжительность производственного цикла является ключевым показателем потока. В растениеводстве полезно измерять не только длительность отдельной операции, но и время от готовности участка до завершения технологического этапа. В уборке – от готовности культуры к уборке до приемки и размещения продукции; в послеуборочной обработке – от поступления партии до готовности к хранению или отгрузке. Чем длиннее этот интервал, тем выше риск ожиданий, промежуточного запаса, потери качества и нарушения агротехнического окна.

Простой необходимо связывать с причиной. Суммарные часы остановки без классификации дают мало управленческой информации. Минимальная структура включает технические отказы, ожидание материалов или транспорта, организационные задержки, погодные остановки и технологически предусмотренное время. В Lean-проект включаются прежде всего управляемые простои; погодное ограничение может быть внешним фактором, но даже оно требует оценки готовности процесса быстро возобновить работу.

Запасы выполняют в АПК неодинаковую функцию. Семенной фонд, сезонные корма, страховые запасные части и скоропортящаяся готовая продукция нельзя оценивать одной нормой. Показателями служат дни обеспеченности, оборачиваемость, доля сверхнормативного запаса, возрастная структура партий, потери от списаний и доля позиций с дефицитом. Бережливое управление не стремится к минимальному запасу независимо от риска; его задача – убрать запас, не компенсирующий реальную неопределенность.

Потери продукции должны измеряться в физической и стоимостной форме. При уборке это недобор и механические потери, при хранении – количественная убыль сверх нормативной, повреждение и ухудшение качества, в животноводстве – продукция, не соответствующая требованиям или не реализованная по плановой категории. Стоимостная оценка должна учитывать не только полное списание: снижение класса зерна или качества молока может означать ценовой дисконт, а не потерю всего объема.

Качество в Lean логике связано с принципом «сделать правильно с первого раза». Для аграрных процессов это доля партий, проходящих без повторной сортировки или досушки; выполнение параметров посева с первого прохода; соответствие кормосмеси рецептуре; отсутствие повторного ремонта; доля заказов, выполненных в требуемый срок и спецификацию. Показатель FPY (first pass yield) можно использовать там, где процесс имеет четко определенный результат и повторную обработку.

$$P_{\text{труд}} = \frac{Q}{T} \quad (8.1)$$

Q – полезный выпуск в натуральных или сопоставимых стоимостных единицах;

T – затраты труда, предпочтительно в человеко-часах.

$$M_{\text{смк}} = \frac{M}{Q} \quad (8.2)$$

M – расход материального ресурса;

Q – полезный результат.

$$E_{\text{смк}} = \frac{E}{Q} \quad (8.3)$$

E – расход энергии;

Q – полезный результат.

$$R_{\text{смк}} = \frac{R}{Q} \quad (8.4)$$

R – расход выбранного ресурса;

Q – полезный результат.

$$K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{пр,упр}}}{T_{\text{план}}} \times 100\% \quad (8.5)$$

$T_{\text{пр,упр}}$ – управляемое время простоя;

$T_{\text{план}}$ – плановое доступное время процесса.

$$K_{\text{об}} = \frac{P}{Z_{\text{ср}}} \quad (8.6)$$

$K_{\text{об}}$ – коэффициент оборачиваемости запаса;

P – расход или себестоимость потребления за период;

$Z_{\text{ср}}$ – средний запас за тот же период.



Рисунок 8.1 – Иерархия показателей Lean-проекта в аграрной организации

Паспорт KPI защищает проект от одной из наиболее частых ошибок – изменения методики после получения результата. Если до проекта простой считался по журналу механика, а после – автоматически по телеметрии, различие может отражать новый способ регистрации. Аналогичная проблема возникает при переходе с тонн физического веса на зачетный вес, при изменении состава стада или класса продукции. Сопоставимость определяется до начала пилота.

Для сезонных аграрных процессов целесообразно сочетать текущие и итоговые показатели. В ходе кампании руководитель видит суточную выработку, загрузку транспорта, простой и потери; после завершения оценивает весь период. Ожидание конца сезона для первой проверки слишком поздно: плохая гипотеза успеет распространиться на большую площадь. Поэтому проектное управление строится на коротком контуре обратной связи при сохранении итоговой сезонной оценки.

Система показателей должна быть ограниченной. Чем больше KPI, тем выше вероятность, что управленческое внимание распределится между второстепенными цифрами. Для пилотного потока обычно достаточно одного итогового показателя результата, двух–четырёх показателей процесса и нескольких диагностических показателей причин. Например, итогом уборочного потока может быть себестоимость уборки тонны зерна; процесс описывают потери урожая, простой комбайнов, время оборота автомобиля и расход топлива; диагностически контролируют причины очередей и технических остановок.

Наконец, показатели должны предотвращать локальную оптимизацию. Рост гектаров обработки в смену может сопровождаться увеличением перекрытий или потерь; сокращение времени доения – ухудшением полноты технологической процедуры; снижение запаса – ростом дефицита в критический момент. Поэтому целевой набор всегда включает ограничитель качества или надежности. Lean-проект считается успешным только тогда, когда улучшение одного параметра не ухудшает ценность в другом звене.

8.2. Оценка экономического, экологического и социального эффекта Lean-проектов

Оценка эффекта начинается с базового состояния. База – это не одна цифра «до проекта», а документированная модель процесса: объем выпуска, структура ресурсов, время работы, цена ресурсов, качество, потери и условия внешней среды. В растениеводстве дополнительно фиксируются культура, площадь, урожайность, тип операции и погодные ограничения; в животноводстве – численность и производственная группа животных, продуктивность и режим содержания; в хранении – характеристика продукции и продолжительность хранения. Чем сильнее результат зависит от внешних факторов, тем больше значение нормализации.

Простейший дизайн «до–после» допустим для стабильного повторяющегося процесса, например ремонта стандартной операции или комплектования расходных материалов. Для урожайности или потерь при уборке одного сравнения календарных лет недостаточно. Более надежно использовать удельные показатели, параллельный контрольный участок, несколько повторов внутри сезона или расчет ожидаемого расхода по норме и фактическим условиям.

В учебном Lean-проекте важно не усложнять статистику без необходимости, но явно указывать, от каких факторов результат очищен, а от каких – нет.

Экономия ресурса определяется как разность сопоставимого базового и фактического потребления. Если изменился объем выпуска, базовое потребление пересчитывается на фактический объем по базовой удельной норме. Это позволяет не считать рост производства «перерасходом» и не приписывать экономии простому сокращению объема работ.

$$Q_{\text{эконом}} = q_0 \times V_1 - Q_1 \quad (8.7)$$

$Q_{\text{эконом}}$ – физическая экономия ресурса после нормализации базового состояния;

q_0 – базовый удельный расход ресурса;

V_1 – фактический объем полезного результата после проекта;

Q_1 – фактический расход ресурса после проекта.

Если условия несопоставимы, формула должна быть дополнена корректирующими факторами или контрольной группой.

Прямой денежный эффект возникает, когда физическая экономия уменьшает закупку, оплату энергии, топлива, материалов, услуг или иной реально изменяемый расход. Если высвобожденный материал уже закуплен и останется на складе, в текущем периоде эффект проявляется прежде всего в снижении будущей потребности и улучшении оборотного капитала. Поэтому полезно разделять эффект по отчету о прибылях и убытках и эффект по денежному потоку.

Высвобождение рабочего времени оценивают в человеко-часах. Его монетизация зависит от сценария использования. Сокращение сверхурочной работы дает прямую экономию; отказ от дополнительного найма – предотвращенные затраты; перераспределение работников на полезную операцию – прирост доступной мощности. Если заработная плата остается неизменной и никакое из этих решений не принято, корректно указывать «высвобождено N человеко-часов», а не «сэкономлено N × тариф».

Снижение времени цикла также не всегда равно денежной экономии. Его ценность может проявляться в уменьшении риска потери качества, выполнении агротехнического окна, ускорении оборота запаса, способности обработать дополнительную площадь или избежать капитальной покупки. Экономическая модель выбирается под механизм эффекта. Это отличает обоснование проекта от формального умножения минут на стоимость часа.

Инвестиционные затраты Lean-проекта включают не только оборудование. Необходимо учитывать проектирование, программное обеспечение, монтаж, интеграцию, обучение, временное снижение производительности в период освоения, дополнительные измерения, расходные материалы и последующее обслуживание. Одновременно часть Lean-проектов может реализовываться

малыми затратами: изменением планировки, визуализацией, стандартом, расписанием, маршрутами и правилами пополнения. Принцип «creativity before capital» полезен как фильтр: до покупки мощности проверяется, нельзя ли устранить потерю организационно.

Для проектов с инвестициями используют ROI, срок окупаемости и NPV. Эти показатели отвечают на разные вопросы. ROI показывает относительную доходность, простой срок окупаемости – скорость возврата вложений, NPV – прирост стоимости с учетом временной стоимости денег. При сравнении проектов предпочтительно использовать NPV и сценарный анализ, а срок окупаемости рассматривать как показатель ликвидности и риска, а не как полную характеристику эффективности.

$$ROI = \frac{\Delta_{\text{год}} - Z_{\text{год}}}{I_0} \times 100\% \quad (8.8)$$

ROI – рентабельность инвестиций;

$\Delta_{\text{год}}$ – годовое денежное воздействие;

$Z_{\text{год}}$ – дополнительные ежегодные эксплуатационные затраты проекта;

I_0 – первоначальные инвестиции.

В организации может использоваться иная корпоративная формула ROI; методика должна быть закреплена заранее.

$$PP = \frac{I_0}{CF_{\text{год}}} \quad (8.9)$$

PP – простой срок окупаемости;

I_0 – первоначальные инвестиции;

$CF_{\text{год}}$ – стабильный годовое чистое денежное воздействие.

Для неравномерных потоков срок определяется накопительным методом.

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (8.10)$$

NPV – чистая приведенная стоимость;

I_0 – первоначальные инвестиции;

CF_t – чистое денежное воздействие проекта в период t ;

r – ставка дисконтирования;

t – номер расчетного периода;

n – горизонт расчета.

Положительное NPV означает, что при принятых предположениях проект создает стоимость сверх требуемой доходности.

При расчете NPV необходимо избегать избыточной точности. Для Leap-проекта на аграрном предприятии неопределенность часто определяется не десятками долями ставки дисконтирования, а урожайностью, ценой продукции, фактической грузовой емкостью оборудования и устойчивостью достигнутого улучшения. Поэтому модель должна иметь базовый, консервативный и оптимистичный

сценарии. В консервативном сценарии уменьшают достижимый физический эффект и используют более осторожные цены реализации; капитальные и эксплуатационные затраты, напротив, не занижают.

Еще одна методическая проблема – двойной счет. Если сокращение потерь зерна уже оценено как дополнительный объем реализации, нельзя второй раз включать тот же объем как снижение себестоимости «потерянного урожая». Аналогично высвобождение времени комбайна и предотвращенная потеря урожая могут быть частями одной причинной цепочки. Паспорт эффекта должен указывать первичный физический результат и конечный денежный эффект, чтобы одна причина не попадала в расчет дважды.

Экологический эффект Lean-проекта сначала измеряется в натуральных единицах. Для аграрной организации это кубометры воды, литры топлива, кВт·ч электроэнергии, килограммы удобрений и средств защиты растений, тонны предотвращенных потерь продукции, отходов или побочных потоков. Перевод в CO₂-эквивалент или иную интегральную метрику выполняется только при наличии методики, коэффициента и установленной границы расчета. В главе 7 показано, что снижение удельной ресурсоемкости и снижение абсолютного воздействия не тождественны.

Социальный эффект также требует физической базы. Наиболее убедительны показатели безопасности и труда: число опасных ситуаций, частота травм, потерянные рабочие дни, время ручного подъема грузов, расстояние перемещений, сверхурочные часы, доля работников, обученных стандарту, количество и реализация предложений. Монетизация социального результата возможна для отдельных компонентов – например, сокращения сверхурочных или затрат из-за травм, – но не должна подменять само социальное измерение.

Lean-проект может создавать отрицательные побочные эффекты. Слишком низкий запас увеличивает риск остановки; сокращение работников без переработки процесса создает туги; ускорение операции повышает дефектность; цифровой мониторинг без правил использования данных вызывает перегрузку уведомлениями. Поэтому итоговая оценка включает ограничители: качество, безопасность, надежность, благополучие животных, состояние почвы, соответствие технологии. Проект признается успешным только при отсутствии неприемлемого ухудшения по ограничениям.

После реализации проекта экономический эффект необходимо подтверждать не в день закрытия пилота, а на устойчивом периоде. Для повторяющегося процесса это может быть 8–12 недель; для сезонного растениеводства – заверченный технологический цикл и следующий сезон. Контроль нужен потому, что часть первоначального улучшения возникает за счет повышенного внимания команды и исчезает после завершения проекта. Стандарт, аудит и ежедневное управление должны удерживать результат без постоянного присутствия консультанта.

Полезным инструментом является реестр выгод проекта. Для каждой выгоды фиксируют базовое значение, целевое значение, фактический результат, владельца, источник данных, финансовую методику и дату подтверждения. Это переводит эффект из презентационной цифры в управляемый объект. Если результат не подтвержден, он остается прогнозным независимо от того, насколько убедительно выглядел пилот.

8.3. Разработка и реализация проекта бережливой трансформации аграрной организации

Бережливая трансформация начинается не с выбора инструмента, а с выбора проблемы и потока. Формулировка «внедрить 5S» или «установить цифровую систему» описывает решение, но не цель. Проектная постановка должна отвечать: где организация теряет ценность, насколько велика потеря, кто является потребителем результата и какие ограничения нельзя нарушить. Такая логика соответствует Lean Transformation Framework: устойчивое изменение требует ясной цели, развития процесса, способности людей решать проблемы, системы управления и лидерского поведения.

Диагностика предприятия проводится на двух уровнях. На уровне портфеля определяются потоки с наибольшим экономическим и стратегическим резервом. На уровне выбранного потока команда идет в gemba, наблюдает процесс, строит карту текущего состояния, собирает данные о времени, запасах, движениях, качестве, простоях и информационных задержках. Кабинетная статистика используется как дополнение, а не замена наблюдения: многие ожидания и повторные действия не отражаются в бухгалтерском учете.

Приоритет потока определяется не только размером потерь. В пилот целесообразно выбирать процесс, где проблема существенна, измерима, управляемая, имеет повторяемый цикл и дает возможность быстро увидеть эффект. Слишком крупный межотраслевой проект трудно использовать для обучения команды. С другой стороны, пилот на незначительном участке не создает мотивации. Хороший первый проект должен одновременно давать экономический результат и формировать компетенцию.

Для аграрных процессов к критериям добавляется календарное окно. Если диагностика уборки завершена после окончания кампании, команде придется ждать следующий сезон для полной проверки. Поэтому портфель улучшений планируют вместе с производственным календарем: зимой можно пилотировать ремонт и склад; весной – подготовку техники и посев; вегетационный период – мониторинг и внесение; уборку и хранение – в соответствующие месяцы. Это уменьшает разрыв между анализом и экспериментом.

Постановка цели должна сочетать результат и ограничители. Пример корректной формулировки: «сократить среднее время оборота автомобиля в уборочном потоке с 95 до 65 минут и управляемый простой комбайнов с 14 до 7

%, сохранив потери зерна не выше 1,5 % и соблюдение требований безопасности». Такая цель задает числовую базу, горизонт и предотвращает ускорение любой ценой.

Карта будущего состояния описывает не идеальный процесс, а достижимую конфигурацию после устранения главных причин потерь. В ней определяются новые точки управления, правила вытягивания, размер промежуточного запаса, сигналы, стандартные маршруты, распределение ответственности и информационный цикл. Каждое изменение должно быть связано с обнаруженной причиной. Если на VSM нет проблемы избыточного запаса, внедрение Kanban ради самого инструмента не обосновано.

Портфель мероприятий полезно разделять на организационные улучшения, восстановление базовых условий, цифровизацию и капитальные решения. Организационные меры – график, стандарт, маршрут, 5S, визуализация – обычно дешевле и быстрее. Восстановление базовых условий включает ремонт, калибровку, маркировку, обучение. Цифровые меры улучшают сигнал и данные. Капитальные вложения увеличивают или меняют техническую возможность. Такая последовательность снижает риск приобрести оборудование для процесса, который можно было улучшить иначе.

Каждое мероприятие получает владельца, срок, показатель результата и статус. Для сложных проектов целесообразна RACI-логика: кто выполняет, кто несет итоговую ответственность, с кем согласуется решение и кто информируется. Однако таблица ролей не должна заменять реальную ответственность. В Lean-проекте особенно важен владелец потока – руководитель, отвечающий за результат после ухода проектной команды.

Пилотирование строится как управляемый эксперимент. Сначала фиксируется стандарт до изменения и базовый показатель; затем вводится ограниченный набор контрмер; после стабилизации измеряется результат. Если одновременно изменить планировку, состав команды, оборудование, график и учет, невозможно понять причину эффекта. Поэтому сложный портфель разбивают на последовательные циклы PDCA и документируют, какие изменения действовали в конкретный период.

В аграрной организации пилот должен учитывать риски необратимости. Ошибка в офисном маршруте исправляется сразу; ошибка в норме внесения или кормления способна повлиять на урожай или животных. Там, где эксперимент затрагивает биологический объект, технологическую норму или безопасность, Lean-команда не заменяет агронома, зоотехника, ветеринарного врача или инженера. Контрмера проходит профессиональное согласование и при необходимости применяется на ограниченном участке.

После подтверждения результата новое состояние стандартизируется. Обновляются SOP, визуальные материалы, чек-листы, настройки системы, планирование, обучение и KPI. Если оставить только проектную презентацию,

организация неизбежно вернется к прежнему способу работы. Стандарт должен быть доступен на рабочем месте, отражать критические точки и содержать реакцию на отклонение. Далее начинается новый PDCA: стандарт – не финал, а база для следующего улучшения.

Масштабирование означает перенос принципа, а не буквальной копии. Транспортный цикл на другом поле имеет другую длину маршрута, ремонт другой модели трактора – иной набор операций, животноводческий корпус – другую планировку. Поэтому «тиражирование» включает проверку условий применимости. Центральная команда предоставляет типовой подход и расчет, а локальная команда адаптирует стандарт к фактическому потоку.

Управление сопротивлением связано не только с коммуникацией. Работники часто сопротивляются изменению, если оно увеличивает нагрузку, лишает понятной автономии, создает двойной учет или воспринимается как подготовка сокращений. Ответом является не мотивационный лозунг, а совместное наблюдение процесса, участие в разработке стандарта, быстрый разбор проблем и прозрачное использование высвобожденного времени. Leap-культура формируется через практику решения проблем, а не через разовое обучение терминам.

Лидерство проявляется в регулярном управленческом цикле. Руководитель не должен лично решать каждую проблему, но обязан проверять наличие стандарта, требовать фактов, устранять межфункциональные барьеры и поддерживать эксперименты. Короткие встречи у визуальной доски, А3-разборы и gemba-обходы полезны тогда, когда приводят к решению и обучению. Если доска превращается в отчетность «для проверки», Leap становится дополнительной бюрократией.

Завершение проекта включает формальное подтверждение выгод и передачу процесса владельцу. На этом этапе сравниваются базовый, целевой и фактический показатели; фиксируются инвестиции и текущие затраты; обновляется карта будущего состояния; определяется контрольный период. Часть инициатив может быть закрыта без масштабирования, если эффект оказался ниже порога. Отказ от неэффективной гипотезы – нормальный результат PDCA, а не провал проекта.

Таблица 8.1 – Критерии выбора приоритетного Leap-потока

Критерий	Вопрос для оценки	Пример шкалы
Размер потерь	Насколько значимы физические и денежные потери?	1 – малы; 5 – существенны для экономики предприятия
Стратегическая значимость	Связан ли поток с клиентом, агротехническим окном, качеством или риском?	1–5
Управляемость	Может ли предприятие воздействовать на причины?	1 – преимущественно внешние; 5 – внутренние причины

Измеримость	Есть ли достоверная база и возможность измерить результат?	1–5
Скорость обратной связи	Можно ли проверить гипотезу в разумный срок?	1–5
Тиражируемость	Есть ли потенциал переноса решения на другие участки?	1–5
Риск пилота	Можно ли безопасно экспериментировать?	обратная шкала: 1 – высокий риск; 5 – низкий

$$B_{\text{приор}} = \sum_i w_i \times b_i \quad (8.11)$$

w_i – вес i -го критерия;

b_i – балл проекта по i -му критерию;

i – номер критерия.

Балльная модель не заменяет управленческое решение, но делает выбор портфеля прозрачным.



Рисунок 8.2 – Этапы проекта бережливой трансформации

Портфель Lean-проектов на уровне предприятия должен быть связан со стратегией. Если одновременно запускаются десятки проектов без владельцев и общей логики, дефицит управленческого внимания становится новым узким местом. Практически полезно разделять проекты на обязательные (безопасность, качество, нормативное соответствие), экономические (затраты, мощность, запасы), стратегические (новая модель потока, цифровизация) и развивающие (компетенции, система предложений).

Годовой цикл управления включает отбор проектов, квартальную проверку портфеля и регулярное подтверждение выгод. При этом Lean не должен превращаться в отдельную вертикаль, существующую параллельно производству. Эксперт по Lean создает методическую способность, но владельцем результата остается операционный руководитель. Это особенно важно в АПК, где решение должно быть встроено в производственный календарь и ежедневное управление, а не оставаться функцией «проекта по улучшениям».

8.4. Российская и зарубежная практика бережливой трансформации аграрного бизнеса

Российская практика последних лет формируется не только внутри отдельных компаний, но и в рамках государственной инфраструктуры повышения производительности. Федеральный проект «Производительность труда» продолжает одноименный национальный проект 2018–2024 гг. и входит в национальный проект «Эффективная и конкурентная экономика». К 2030 г. поставлена задача вовлечь не менее 40 % средних и крупных предприятий базовых несырьевых отраслей экономики в проекты повышения производительности. Для АПК это означает наличие методической и организационной среды, в которой Lean рассматривается как один из способов роста без обязательного расширения капитальной базы.

Контекст АПК делает задачу производительности особенно значимой. Обновленная в 2025 г. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов предусматривает в базовом варианте рост объемов производства продукции АПК к 2030 г. не менее чем на 25 % по сравнению с 2021 г., а экспорта – не менее чем в 1,5 раза. Эти целевые ориентиры сами по себе не предписывают Lean, однако усиливают значение интенсивных факторов роста: снижения потерь, лучшего использования оборудования, труда и инфраструктуры.

Открытые материалы Федерального центра компетенций показывают, что к началу 2023 г. с проектом работали сотни сельскохозяйственных и пищевых предприятий. По информации ФЦК, среди компаний, взаимодействовавших с центром, рост производительности у сельхозпредприятий в среднем составлял 23 %, а рост добавленной стоимости и выручки – 23 и 26 % соответственно. Эти цифры следует рассматривать как отчетность программы, а не как универсальную причинную оценку: состав участников, период и методика расчета различаются. Для учебного анализа важнее конкретные механизмы улучшений.

Один из публичных примеров – предприятия агропромышленного холдинга «ЭКО-культура». В материалах ФЦК сообщалось, что на ставропольской площадке сокращение времени сбора и упаковки томатов в два раза дало дополнительный экономический эффект около 230 млн руб.; в

Ленинградской области выработка овощей выросла на 40 %, а на липецкой площадке – в два раза. На предприятии «Овощи Черноземья» линия фасовки томата проектировалась с ростом производительности с 20 до 40 тыс. единиц в сутки за счет переноса линии, сокращения маршрутов, организации рабочих мест, нового стандарта и дополнительного конвейера. Содержательная особенность примера – сочетание планировки, стандартизации и технического решения.

Другой пример относится к птицеводству: ФЦК сообщал, что на одной линии «Элинар-бройлер» объем производства полуфабрикатов из курицы увеличился на четверть, а заявленный экономический эффект превысил 160 млн руб.. Для учебной практики этот кейс важен не величиной эффекта, а необходимостью связать процент роста выпуска с конкретной базой: пропускной способностью линии, ассортиментом, временем работы, затратами и качеством. Без такой декомпозиции публичная цифра не может быть непосредственно перенесена в расчет другого предприятия.

Более свежий пример непосредственно сельскохозяйственного предприятия представлен племзаводом «Каложицы» в Ленинградской области. По итогам шестимесячного участия в федеральном проекте в 2026 г. пилотным потоком было техническое обслуживание трактора; время процесса снизилось со 157 до 68 минут за счет планирования и стандартизации. На складе запасных частей внедрена 5S, а публичные материалы также указывают на сокращение объема ненужных деталей и использование анализа причин повторных отказов. Этот пример показывает, что Lean в АПК может начинаться не с биологического процесса, а с обеспечивающей функции, критичной для агротехнического окна.

Зарубежная практика демонстрирует ту же закономерность – успех определяется не размером хозяйства, а качеством постановки проблемы. В описанном Lean Enterprise Institute датском молочном хозяйстве исходный показатель выглядел благополучно: смертность телят была равна нулю. Картирование потока изменило фокус на ценность внутреннего потребителя – требование к теленку достичь 100 кг к восьми неделям. Выяснилось, что хозяйство не измеряло этот показатель и производило телят по push-логике независимо от потребности следующего процесса. После анализа поток стал планироваться по pull-принципу. Кейс хорошо показывает опасность «удобного KPI», не связанного с ценностью.

Еще более наглядный пример дает Clay Bottom Farm в США. По материалам Lean Enterprise Institute ферма последовательно уменьшала площадь, одновременно повышая прибыльность и ценность труда. В отдельных операциях время посева 264 ячеек было сокращено примерно с 20 минут до 30 секунд, а пересадки ряда растений – с 45 минут до 51 секунды за счет изменения технологии и инструмента. При проектировании новой площадки маршруты моделировались диаграммой спагетти; количество основных зданий было

сокращено с семи до двух, а короткий поток «уборка – обработка – отгрузка» позволил отказаться от отдельного холодильного хранения для этой модели продаж. Это не рецепт для крупного хозяйства, а иллюстрация принципа: капитал и площадь не компенсируют плохой поток.

Смежный аграрному сектору пример – производитель техники Vermeer. После многолетних внутренних Lean-улучшений компания обнаружила, что дилеры по-прежнему получали часть оборудования через 90–120 дней, хотя само производство занимало считанные дни. Совместное картирование расширенного потока привело к переходу от месячных пакетных заказов к пополнению, связанному с фактической продажей. В описании LEI сообщается о снижении запасов в сети и удвоении оборачиваемости запасов Vermeer в 2006–2011 гг.; программа масштабировалась через пилота с несколькими дилерами и стандартизацию конфигураций. Для АПК этот кейс полезен при анализе поставок техники и запасных частей: локально быстрый процесс не создает ценности, если расширенный поток остается медленным.

Сравнение российской и зарубежной практики выявляет общие факторы успеха. Во-первых, проект начинается с конкретного потока, а не с декларирования «бережливой культуры». Во-вторых, измеряется базовое состояние. В-третьих, инструменты подбираются под причину: 5S – когда потеря связана с поиском и рабочим местом, VSM – когда проблема находится в межоперационном потоке, стандартизация – когда вариабельность создается разными способами выполнения, pull – когда запас и производство оторваны от потребности. В-четвертых, пилот формирует доказательство и компетенцию перед масштабированием.

Причины неудач также универсальны. К ним относятся внедрение инструмента без проблемы; попытка заменить Lean капитальной автоматизацией; установка слишком большого числа KPI; экономия за счет качества или безопасности; отсутствие владельца процесса; проектная отчетность без изменения ежедневной работы; сокращение людей как главный критерий; копирование стандарта между неодинаковыми потоками. В аграрной сфере добавляются недооценка сезонности, биологических ограничений, пространственной удаленности и необходимости страховых резервов.

Российским сельскохозяйственным организациям имеет смысл адаптировать Lean в четырех направлениях. Первое – планировать проекты по сельскохозяйственному календарю. Второе – разделять потери и технологически необходимые резервы: страховой запас, свободную мощность и время на обслуживание. Третье – измерять результат преимущественно в натуральных удельных показателях до его стоимостной оценки. Четвертое – строить компетенцию внутри предприятия, чтобы после пилота улучшения поддерживались владельцем потока и работниками, а не зависели от внешнего консультанта.

Итоговый комплексный кейс: разработка проекта бережливой трансформации сельскохозяйственной организации

Кейс «АгроВектор»: бережливая трансформация уборочно-логистического потока

Условное сельскохозяйственное предприятие «АгроВектор» обрабатывает 12 тыс. га. Для пилотного проекта бережливой трансформации выбран поток уборки озимой пшеницы на площади 4 800 га. Средняя расчетная урожайность составляет 4,2 т/га. В уборке участвуют шесть комбайнов и десять автомобилей, зерно доставляется на собственный пункт приемки и временного хранения. Все числовые данные кейса являются условными учебными.

Диагностика текущего состояния показала, что управляемый простой комбайнов из-за ожидания транспорта, несогласованной очередности и организационных задержек составляет 17 % доступного времени. Средний оборот автомобиля от прибытия к комбайну до возврата составляет 95 мин, а продолжительность ожидания на приемке в пиковый период достигает 34 мин. Удельный расход топлива уборочно-логистического потока составляет 7,8 л/т. Управляемые технологические и организационные потери зерна оцениваются в 2,4 % валового потока.

Картирование потока создания ценности выявило основные причины потерь: отсутствие единой системы диспетчеризации транспорта, изменение маршрутов и точек встречи в течение смены, отсутствие визуального ограничения очереди на приемке, различия в организации ежедневного технического осмотра комбайнов и несвоевременная фиксация данных о простоях и потерях.

В качестве будущего состояния предлагается централизованное диспетчирование транспорта по фактической готовности бункеров, закрепление маршрутов и точек встречи, введение визуального лимита очереди на приемке, стандарта передачи смены, чек-листа ежедневного обслуживания комбайнов, 5S для мобильного комплекта инструмента и цифровой панели оперативного контроля.

Целевые показатели проекта: снижение управляемого простоя комбайнов с 17 до 8 %, сокращение среднего оборота автомобиля с 95 до 70 мин, снижение управляемых потерь зерна с 2,4 до 1,5 % и удельного расхода топлива с 7,8 до 7,1 л/т. Качество зерна и требования безопасности должны сохраняться на исходном уровне.

Для экономического обоснования проекта приняты следующие данные:

Показатель	Значение
Площадь пилотного массива	4 800 га
Средняя урожайность	4,2 т/га
Цена зерна	18 000 руб./т
Расход топлива до проекта	7,8 л/т

Расход топлива после проекта	7,1 л/т
Цена дизельного топлива	70 руб./л
Сокращение сверхурочной работы	1 200 чел.-ч
Дополнительная стоимость 1 чел.-ч	550 руб.
Снижение затрат на внеплановые ремонты и срочную доставку запчастей	400 000 руб./год
Первоначальные инвестиции	7 200 000 руб.
Дополнительные эксплуатационные расходы	600 000 руб./год
Горизонт расчета	5 лет
Ставка дисконтирования	16 %
Остаточная стоимость	не учитывается

В результате организационных изменений предприятие предполагает отказаться от приобретения двух дополнительных автомобилей. Возможная предотвращенная инвестиция в транспорт в расчеты данного кейса не включается.

Задание

1. Рассчитайте ожидаемый валовой сбор зерна и объем сохраненной продукции при снижении управляемых потерь с 2,4 до 1,5 %.
2. Определите экономический эффект от сокращения потерь зерна.
3. Рассчитайте объем экономии дизельного топлива и соответствующий денежный эффект.
4. Определите эффект от сокращения сверхурочной работы и снижения затрат на внеплановые ремонты.
5. Рассчитайте совокупный валовой и чистый годовой экономический эффект проекта.
6. Определите **ROI**, простой срок окупаемости **PP** и **NPV** проекта за пять лет при ставке дисконтирования 16 %.
7. Выделите натуральные экологические и социальные результаты проекта, не переводя их в денежную форму при отсутствии обоснованных коэффициентов.
8. Сделайте вывод об экономической целесообразности проекта и объясните, почему решение о покупке дополнительного транспорта следует принимать только после устранения выявленных организационных потерь.

Задания для самостоятельной работы

Задание 1. Система KPI для Lean-проекта растениеводческого предприятия

Предприятие планирует сократить продолжительность посевного потока и расход топлива. Сформируйте систему из одного итогового, трех процессных и не менее трех диагностических показателей. Для каждого KPI заполните паспорт: формула, единица, источник, периодичность, базовый период, целевое значение,

владелец и ограничитель. Объясните, почему показатель «гектаров в смену» нельзя использовать как единственный критерий успеха.

Задание 2. Нормализация базового состояния и расчет экономии ресурса

В базовом сезоне хозяйство обработало 7 500 га и израсходовало 94 500 л топлива на выбранную операцию. После проекта обработано 8 400 га при расходе 96 600 л. Цена топлива – 72 руб./л. Рассчитайте базовый удельный расход, ожидаемый расход при новом объеме без проекта, физическую экономию и прямой денежный эффект. Сравните вывод с простым сопоставлением общего расхода двух сезонов и объясните различие.

Задание 3. ROI, срок окупаемости и NPV проекта автоматизации контроля хранения

Инвестиции в систему контроля условий хранения составляют 5,8 млн руб. Ежегодные дополнительные затраты – 420 тыс. руб. Ожидаемое сокращение потерь продукции дает 2,4 млн руб. в год, экономия электроэнергии – 680 тыс. руб., предотвращенные срочные ремонты – 350 тыс. руб. Горизонт – 5 лет, ставка дисконтирования – 15 %. Рассчитайте чистый годовой эффект, ROI по формуле главы, простой срок окупаемости и NPV. Постройте консервативный сценарий, в котором физический эффект по потерям достигается только на 60 % от плана.

Задание 4. Экологический и социальный эффект без двойного счета

После изменения маршрутов и стандарта работы предприятие сократило расход дизеля на 18 500 л, сверхурочную работу – на 900 чел.-ч, а списание продукции – на 72 т. Цена топлива 71 руб./л, дополнительная стоимость сверхурочного часа 610 руб., маржинальный доход от тонны сохраненной продукции – 8 400 руб. Определите натуральный экологический и социальный эффект и денежный результат. Укажите, какие показатели нельзя суммировать дважды и какие дополнительные данные понадобятся для расчета климатического эффекта.

Задание 5. Паспорт проекта и план пилотирования

Выберите один поток: ремонт сельхозтехники, кормление молочного стада, уборка зерна, склад средств защиты растений или приемка овощной продукции. Подготовьте одностраничный паспорт проекта: проблема, внутренний/внешний потребитель, базовая линия, цель, ограничители, карта предполагаемых причин, состав команды, 5–7 мероприятий, календарь пилота, KPI и порядок подтверждения выгод. Отдельно перечислите факторы сопротивления изменениям и способы их устранения через организацию процесса, а не только через коммуникацию.

Вопросы для самопроверки

1. Почему финансовый результат не может быть единственным показателем Lean-проекта?
2. Чем физическая производительность труда отличается от денежной выработки и почему это важно для аграрного анализа?
3. Как нормализовать потребление ресурса, если после проекта изменился объем производства?
4. В каких случаях высвобожденное рабочее время можно признавать денежной экономией?
5. Чем снижение запаса отличается от прибыли и какие эффекты оно может создавать?
6. Что показывают ROI, простой срок окупаемости и NPV и почему их следует использовать совместно?
7. Как избежать двойного счета при оценке нескольких результатов одного Lean-проекта?
8. Почему экологический и социальный эффект целесообразно сначала фиксировать в натуральных показателях?
9. Какие критерии используются для выбора приоритетного потока бережливой трансформации?
10. Какова роль карты будущего состояния и почему она должна предшествовать части инвестиционных решений?
11. Какие особенности пилотирования Lean-проектов связаны с сезонностью и биологическими процессами сельского хозяйства?
12. Почему масштабирование решения не должно означать буквальное копирование стандарта?
13. Какие факторы успеха объединяют российские и зарубежные аграрные Lean-практики?
14. Какие публичные показатели проекта следует дополнительно проверить перед использованием в инвестиционном обосновании другого предприятия?

Выводы по главе

Экономическая оценка бережливого производства должна сохранять причинную связь между физической потерей, изменением процесса и финансовым результатом. Наиболее надежная модель строится снизу вверх: сначала измеряются время, материал, энергия, запас, потери продукции и качество; затем определяется механизм монетизации. Такой подход снижает риск завышения эффекта и позволяет объяснить результат руководству и работникам.

Система KPI эффективна, когда объединяет показатели потерь, потока, ресурсной эффективности, экономики, качества и ESG, но не перегружает управление. Для каждого показателя фиксируются формула, граница процесса,

источник, базовый период и правило реакции. В аграрном секторе особенно важны нормализация на площадь, массу продукции, поголовье и другой полезный результат, а также учет сезонной variability.

ROI и срок окупаемости удобны для быстрой оценки, однако инвестиционное решение по проектам с многолетним эффектом требует дисконтированного денежного потока и сценарного анализа. NPV позволяет учитывать стоимость капитала, но качество результата определяется качеством предпосылок. Консервативный сценарий должен отражать неполное достижение физического эффекта, а не только изменение ставки дисконтирования.

Управление бережливой трансформацией начинается с выбора проблемы, а не инструмента. Диагностика, VSM, анализ причин, карта будущего состояния, портфель контрмер, пилот, стандартизация и подтверждение выгод образуют последовательный цикл. Инвестиционные и цифровые решения вводятся после проверки базовых организационных условий, если именно они нужны для устранения причины.

Российские и зарубежные практики показывают применимость Lean к растениеводству, животноводству, тепличному производству, техническому обслуживанию и расширенным цепочкам поставок. При этом результат нельзя переносить между хозяйствами без адаптации. Сезонность, пространственная структура, биологические ограничения, страховые резервы и доступность данных определяют конкретную архитектуру Lean-проекта.

Завершенная бережливая трансформация отличается от разового улучшения наличием владельца процесса, нового стандарта и способности организации самостоятельно продолжать PDCA. Экономический эффект становится устойчивым только тогда, когда улучшенный способ работы включен в ежедневное управление и сохраняется после завершения пилота.

Глоссарий

В глоссарий включены основные понятия, используемые в пособии. Определения сформулированы применительно к задачам бережливого управления аграрными процессами; для стандартизованных терминов сохраняется смысл, принятый в соответствующих стандартах и методических источниках.

A3-отчет (A3 Report) – структурированный одностраничный формат анализа проблемы, причин, целевого состояния, контрмер, плана действий и проверки результата; используется как инструмент PDCA и коммуникации по улучшению.

Agriculture 4.0 – этап цифровой трансформации аграрного производства, при котором сенсоры, телеметрия, платформы, аналитика и автоматизация объединяются в сквозной контур управления физическими и информационными процессами.

ABC/XYZ-анализ – совместная классификация запасов по значимости их стоимости или потребления (ABC) и по устойчивости спроса (XYZ); применяется для дифференцированного управления запасами и уровнем контроля.

Big Data – массивы данных большого объема, скорости поступления и разнообразия, обработка которых требует специальных технологий; в АПК используются для анализа пространственных, технологических, биологических и экономических процессов.

ESG – совокупность экологических (Environmental), социальных (Social) и управленческих (Governance) факторов, используемых для оценки воздействия, рисков и качества управления организацией.

FEFO (First Expired, First Out) – правило складской ротации, при котором в первую очередь используется партия с более ранним окончанием допустимого срока хранения или использования.

FIFO (First In, First Out) – правило складского движения, согласно которому раньше поступившая партия отпускается раньше; применяется там, где очередность поступления существенно влияет на сохранность и оборачиваемость.

FMIS (Farm Management Information System) – информационная система управления сельскохозяйственным предприятием, объединяющая данные о полях, операциях, ресурсах, технике, поголовье, заданиях и производственных результатах.

IoT – Интернет вещей – система взаимосвязанных физических устройств, датчиков и программных компонентов, обеспечивающих автоматизированный сбор и обмен данными о состоянии объектов и процессов.

Just-in-Time (JIT) – принцип организации потока, при котором необходимый ресурс поступает в нужное место, в нужном количестве и к требуемому моменту; в АПК применяется с учетом сезонности, сроков поставки и обоснованных страховых резервов.

Kaizen (кайдзен) – подход к постоянному совершенствованию процессов посредством регулярных небольших улучшений с вовлечением работников и последующей стандартизацией доказанного результата.

Kanban – визуальный или цифровой сигнал, инициирующий пополнение, перемещение или выполнение работы на основании фактического потребления; элемент вытягивающей системы.

KPI – ключевой показатель эффективности, имеющий установленную формулу, источник данных, границу процесса, период измерения, целевое значение и правило управленческой реакции.

Lean production (бережливое производство) – концепция управления, ориентированная на создание ценности для потребителя при систематическом устранении потерь, развитии непрерывного потока, вытягивания, стандартизации и постоянного совершенствования.

Lead time – полная календарная продолжительность прохождения заказа, материала, информации или объекта через заданный процесс, включая операции, ожидание, транспортировку и иные интервалы.

MES – класс систем оперативного управления производственными операциями и исполнением производственного плана; в аграрной практике функциональный аналог может быть реализован в отраслевых платформах и системах диспетчеризации.

MTBF – среднее время между отказами оборудования; показатель надежности, используемый для оценки частоты отказов и результативности профилактического обслуживания.

MTTR – среднее время восстановления или ремонта после отказа; характеризует ремонтпригодность и организацию процесса технического обслуживания.

Muda (муда) – потери в виде действий или потребления ресурсов, не создающих ценности и не являющихся технологически необходимыми.

Mura (мура) – неравномерность нагрузки, объема работ, поставок или потока, способная создавать ожидание, перегрузки, запасы и другие формы потерь.

Muri (мури) – перегрузка людей, оборудования или процесса сверх устойчивой способности, повышающая риск ошибок, отказов, травм и нестабильности.

NPV – чистая приведенная стоимость – разность между дисконтированной стоимостью будущих денежных эффектов проекта и первоначальными и последующими инвестиционными затратами; применяется для оценки проектов с многолетним горизонтом.

OEE – общая эффективность оборудования – интегральный показатель использования оборудования, рассчитываемый как произведение доступности, производительности и коэффициента качества.

PDCA – цикл Plan–Do–Check–Act: планирование изменения, его проверка в действии, оценка результата и закрепление либо корректировка решения.

Poka-yoke – решение, предотвращающее ошибку или обеспечивающее ее обнаружение непосредственно в месте возникновения до распространения дефекта по процессу.

RACI – матрица распределения ролей, в которой для действий проекта определяются ответственный исполнитель, лицо, несущее итоговую ответственность, консультируемые и информируемые участники.

ROI – рентабельность инвестиций – отношение экономического результата проекта к величине инвестиций, выраженное обычно в процентах; требует четкого определения состава эффекта и затрат.

RTK-навигация – технология высокоточного спутникового позиционирования с передачей корректирующих данных в реальном времени; используется для точного вождения сельскохозяйственной техники и сокращения перекрытий.

SMED – методика сокращения времени переналадки оборудования посредством разделения внутренних и внешних операций, их преобразования и стандартизации.

SOP – стандартная операционная процедура – документированная последовательность выполнения повторяющейся операции с указанием критических параметров, ответственности, контрольных точек и действий при отклонении.

TPM – всеобщий уход за оборудованием – система повышения надежности и эффективности оборудования, сочетающая профилактическое обслуживание, участие операторов, анализ потерь и постоянное улучшение.

VSM – картирование потока создания ценности – метод визуального описания материального и информационного потока от начала до конца выбранного процесса с фиксацией времени, запасов, ожиданий, показателей операций и проблем.

VRT – технология дифференцированного внесения – изменение нормы семян, удобрений, средств защиты растений или воды в пределах поля на основании пространственных данных и карты-задания либо данных сенсоров.

Автономное техническое обслуживание – регламентированные безопасные действия операторов по осмотру, очистке, контролю базового состояния и раннему выявлению отклонений оборудования без подмены специализированного ремонта.

Базовое состояние – зафиксированный до начала проекта уровень показателей процесса, рассчитанный по сопоставимой методике и используемый для доказательства последующего изменения.

Бережливая трансформация – управляемое изменение системы процессов организации на принципах Lean, включающее диагностику, выбор приоритетного потока, пилотирование, стандартизацию и масштабирование.

Бутылочное горлышко (узкое место) – операция или ресурс с наименьшей устойчивой пропускной способностью, ограничивающий результат всего связанного потока.

Визуальное управление – организация информации и рабочего пространства таким образом, чтобы нормальное состояние, отклонение, приоритет и необходимое действие были быстро понятны без дополнительного поиска.

Время цикла – время выполнения одной операции или получения одной единицы результата в выбранной точке процесса; не тождественно полной длительности прохождения потока.

Вытягивающая система – организация производства и пополнения, при которой инициатором следующего действия является фактическая потребность последующего процесса, а не только прогноз или план выпуска.

Диаграмма Исикавы – графический инструмент анализа возможных причин проблемы по группам факторов; используется для структурирования гипотез перед проверкой первопричины.

Диаграмма спагетти – схема фактических перемещений людей, техники, животных или материалов по территории процесса, используемая для выявления лишних маршрутов и пересечений.

Дифференцированное внесение – применение переменной нормы ресурса по пространственным зонам поля в соответствии с заданной моделью потребности и технологическими ограничениями.

Доступность оборудования – доля запланированного времени, в течение которого оборудование технически готово к выполнению требуемой операции.

Информационный поток – последовательность формирования, передачи, обработки и использования данных, необходимых для планирования и управления физическим процессом.

Искусственный интеллект – совокупность методов и систем, способных выполнять задачи анализа, распознавания, прогнозирования или поддержки решений на основе данных; в Lean оценивается через влияние на конкретную потерю и качество решения.

Карта будущего состояния – целевая модель потока после устранения приоритетных причин потерь, показывающая предполагаемую последовательность операций, связи, запасы, время и правила управления.

Карта текущего состояния – описание фактически наблюдаемого процесса до улучшения с реальными показателями времени, запасов, перемещений, информационных связей и потерь.

Карта-задание – пространственный цифровой слой с заданными нормами или параметрами выполнения операции по отдельным участкам поля.

Контролируемое движение техники (Controlled Traffic Farming) – система закрепления постоянных технологических колеи и маршрутов движения техники для уменьшения уплотнения почвы и повторных проходов.

Круговая (циркулярная) биоэкономика – организация производства, при которой биологические ресурсы и побочные потоки используются повторно или каскадно при приоритетном предотвращении образования ненужных потерь.

Материалоемкость – отношение количества или стоимости потребленных материалов к объему полезного результата; используется для оценки ресурсной эффективности.

Машинное зрение – автоматизированное получение и анализ изображений для распознавания объектов и отклонений, например сорняков, повреждений растений, состояния животных или качества продукции.

Предиктивное техническое обслуживание – обслуживание по прогнозируемому состоянию оборудования на основе измеряемых признаков деградации, истории отказов и аналитических моделей.

Производительность труда – отношение полезного результата к затратам труда; для Lean предпочтительно использовать физические показатели и отдельно анализировать структуру рабочего времени.

Производственно-логистический цикл – полная продолжительность движения продукции от завершения производственной операции через транспортировку, приемку и обработку до установленной точки хранения или передачи.

Ресурсоемкость – отношение потребления определенного ресурса или совокупности ресурсов к единице полезного результата; позволяет сопоставлять периоды с различным объемом производства.

Себестоимость – стоимостная оценка ресурсов, потребленных для производства и реализации единицы или объема продукции; в Lean используется совместно с физическими показателями потерь.

Стандартизированная работа – лучший из подтвержденных на данный момент воспроизводимый способ выполнения процесса с установленной последовательностью, временем, условиями и критериями отклонения.

Страховой запас – обоснованный дополнительный запас, предназначенный для компенсации неопределенности спроса, срока поставки или иных значимых рисков; его размер должен быть связан с фактической вариабельностью.

Такт – расчетный интервал, с которым процесс должен выдавать единицу результата для соответствия потребности; применим при наличии достаточно устойчивого спроса и корректно выбранной единицы потока.

Точка заказа – уровень запаса, при достижении которого инициируется пополнение с учетом среднего потребления за срок поставки и установленного страхового резерва.

Точное земледелие – система пространственно дифференцированного управления полем на основе геоданных, сенсоров, картирования, навигации и аналитики для более точного использования ресурсов.

Ценность – полезный для внешнего или внутреннего потребителя результат, характеристики которого определяют, какие действия процесса действительно необходимы.

Цифровой двойник – цифровое представление физического объекта или процесса, поддерживающее актуальную связь с данными объекта и используемое для анализа, моделирования или поддержки решений.

Цифровой Lean – применение цифровых технологий для повышения наблюдаемости потока, ускорения обнаружения отклонений и поддержки стандартной реакции при сохранении принципа первичности проблемы, а не технологии.

Цифровая панель показателей (dashboard) – интерфейс визуального контроля ограниченного набора KPI, предназначенный для быстрого обнаружения отклонений и принятия конкретного управленческого действия.

Экономический эффект Lean-проекта – изменение затрат, денежного потока или экономической ценности, причинно связанное с подтвержденным физическим улучшением процесса и рассчитанное с учетом затрат на проект.

Энергоемкость – количество потребленной энергии на единицу полезного результата; применяется совместно с абсолютным энергопотреблением.

ESG-показатель – измеримый показатель экологического, социального или управленческого аспекта, имеющий определенную методику, границу, источник данных и период наблюдения.

«5 почему» – метод последовательного уточнения причинно-следственной связи путем повторного вопроса о причине наблюдаемого явления до достижения уровня, на котором возможна проверяемая контрмера.

5S – система организации рабочего пространства, включающая сортировку, самоорганизацию, содержание в чистоте, стандартизацию и совершенствование дисциплины поддержания установленного состояния.

Список литературы

Нормативные документы, стандарты и методические материалы

1. ГОСТ Р 56020–2020. Бережливое производство. Основные положения и словарь.
2. ГОСТ Р 57524–2017. Бережливое производство. Поток создания ценности.
3. ГОСТ Р 56404–2021. Бережливое производство. Требования к системам менеджмента.
4. ГОСТ Р 56407–2023. Бережливое производство. Основные инструменты и методы их применения.
5. ГОСТ 18322–2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.
6. ГОСТ 20793–2023. Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание.
7. ISO 4254-1:2013. Agricultural machinery – Safety – Part 1: General requirements.
8. ISO 6690:2007. Milking machine installations – Mechanical tests.
9. ISO 20966:2007. Automatic milking installations – Requirements and testing.
10. ISO 55000:2024. Asset management – Vocabulary, overview and principles.
11. ISO 55001:2024. Asset management – Asset management system – Requirements.
12. ISO/IEC 30141:2024. Internet of Things (IoT) – Reference architecture.
13. ISO/IEC 30173:2023. Digital twin – Concepts and terminology.
14. ISO/IEC 30186:2025. Digital twin – Maturity model and guidance for a maturity assessment.
15. ISO/IEC 30188:2026. Digital twin – Reference architecture.
16. ISO/IEC 23894:2023. Information technology – Artificial intelligence – Guidance on risk management.
17. ISO/IEC 42001:2023. Information technology – Artificial intelligence – Management system.
18. IEC 62264-3:2016. Enterprise-control system integration – Part 3: Activity models of manufacturing operations management.
19. ISO 14001:2026. Environmental management systems – Requirements with guidance for use.
20. ISO 50001:2018. Energy management systems – Requirements with guidance for use.
21. ISO 14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework, with Amendment 1:2020.
22. ISO 14044:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
23. ISO 14051:2011. Environmental management – Material flow cost accounting – General framework.
24. ISO 14052:2017. Environmental management – Material flow cost accounting – Guidance for practical implementation in a supply chain.

25. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use.
26. ISO 21502:2020. Project, programme and portfolio management – Guidance on project management.
27. IWA 48:2024. Framework for implementing environmental, social and governance (ESG) principles. – Geneva : ISO, 2024.
28. GRI 13: Agriculture, Aquaculture and Fishing Sectors 2022. Version 1.1 / Global Reporting Initiative. – 2026.
29. GRI 303: Water and Effluents 2018 / Global Reporting Initiative. – 2018.
30. GRI 306: Waste 2020 / Global Reporting Initiative. – 2020.
31. GRI 403: Occupational Health and Safety 2018 / Global Reporting Initiative. – 2018.
32. GRI 101: Biodiversity 2024 / Global Reporting Initiative. – 2024.
33. GRI 102: Climate Change 2025 / Global Reporting Initiative. – 2025. – Дата вступления в силу: 01.01.2027.
34. GRI 103: Energy 2025 / Global Reporting Initiative. – 2025. – Дата вступления в силу: 01.01.2027.
35. IFRS S1 General Requirements for Disclosure of Sustainability-related Financial Information / IFRS Foundation. – London : IFRS Foundation, 2023.
36. IFRS S2 Climate-related Disclosures / IFRS Foundation. – London : IFRS Foundation, 2023. – Изменения к раскрытию информации о выбросах парниковых газов опубликованы в декабре 2025 г.
37. Safety and Health in Agriculture Convention, 2001 (No. 184) / International Labour Organization. – Geneva : ILO, 2001.
38. OECD-FAO Guidance for Responsible Agricultural Supply Chains / OECD, FAO. – Paris : OECD Publishing, 2016.
39. Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации : постановление Правительства Российской Федерации от 21 сентября 2021 г. № 1587 : в актуальной редакции.
40. О внесении изменений в Стратегию развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 7 февраля 2025 г. № 253-р.

Научная и учебная литература, аналитические доклады

41. Основы бережливого производства в АПК : учебник для СПО / В. Т. Водяников, Е. В. Худякова, Н. В. Сергеева, М. Н. Степаневич ; под редакцией В. Т. Водяникова. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 196 с.

42. Bongiovanni, R. Precision Agriculture and Sustainability / R. Bongiovanni, J. Lowenberg-DeBoer // Precision Agriculture. – 2004. – Vol. 5. – P. 359–387.
43. Brealey, R. A. Principles of Corporate Finance / R. A. Brealey, S. C. Myers, F. Allen. – McGraw-Hill Education, 2020.
44. The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction / Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome : FAO, 2019.
45. The State of Food and Agriculture 2022. Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems / Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome : FAO, 2022.
46. Good Practices for the Feed Industry: Implementing the Codex Alimentarius Code of Practice on Good Animal Feeding / FAO, IFIF. – Rome : FAO, 2010. – (FAO Animal Production and Health Manual ; No. 9).
47. Fagan, M. IoT Device Cybersecurity Capability Core Baseline : NISTIR 8259A / M. Fagan ; National Institute of Standards and Technology. – 2020.
48. Imai, M. Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success / M. Imai. – New York : McGraw-Hill, 1986.
49. Jiang, B. Precision Livestock Farming Research: A Global Scientometric Review / B. Jiang // Animals. – 2023. – Vol. 13. – Article 2096.
50. Kleen, J. L. Precision Livestock Farming: What Does It Contain and What Are the Perspectives? / J. L. Kleen, R. Guatteo // Animals. – 2023. – Vol. 13. – Article 779.
51. Liker, J. K. The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer / J. K. Liker. – New York : McGraw-Hill, 2004.
52. Magana, J. Machine learning approaches to predict and detect early-stage digital dermatitis in dairy cows using sensor data / J. Magana // Frontiers in Veterinary Science. – 2023. – Vol. 10. – Article 1295430.
53. McFadden, J. Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on U.S. Farms / J. McFadden, E. Njuki, T. Griffin ; U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. – 2023. – (Economic Information Bulletin ; No. 248).
54. Nakajima, S. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance / S. Nakajima. – Cambridge, MA : Productivity Press, 1988.
55. Ohno, T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production / T. Ohno. – Portland, OR : Productivity Press, 1988.
56. Rezaei, M. Food loss and waste in the food supply chain / M. Rezaei, B. Liu // International Nut and Dried Fruit Council: Food Loss and Waste. – 2017.
57. Rother, M. Learning to See: Value-Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda / M. Rother, J. Shook. – Brookline, MA : Lean Enterprise Institute, 1999.
58. Schimmelpfennig, D. Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture / D. Schimmelpfennig ; U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. – 2016. – (Economic Research Report ; No. 217).

59. Schodl, K. Sensor data cleaning for applications in dairy herd management and breeding / K. Schodl // *Frontiers in Animal Science*. – 2024. – Vol. 5. – Article 1444948.
60. Shingo, S. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System* / S. Shingo. – Cambridge, MA : Productivity Press, 1985.
61. Stygar, A. H. A systematic review on commercially available and validated sensor technologies for welfare assessment of dairy cattle / A. H. Stygar // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2021. – Vol. 8. – Article 634338.
62. Tabassi, E. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0) : NIST AI 100-1 / E. Tabassi ; National Institute of Standards and Technology. – 2023.
63. Trendov, N. M. Digital technologies in agriculture and rural areas – Status report / N. M. Trendov, S. Varas, M. Zeng. – Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019.
64. Womack, J. P. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation* / J. P. Womack, D. T. Jones. – New York : Simon & Schuster, 2003.

Электронные ресурсы и материалы практики

65. Toyota Production System. – Текст : электронный // Toyota Global : [сайт]. – URL: <https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/> (дата обращения: 27.07.2026).
66. Lean Thinking and Practice. – Текст : электронный // Lean Enterprise Institute : [сайт]. – URL: <https://www.lean.org/lexicon-terms/lean-thinking-and-practice/> (дата обращения: 27.07.2026).
67. Value Stream Mapping Overview. – Текст : электронный // Lean Enterprise Institute : [сайт]. – URL: <https://www.lean.org/lexicon-terms/value-stream-mapping/> (дата обращения: 27.07.2026).
68. Pull Production. – Текст : электронный // Lean Enterprise Institute : [сайт]. – URL: <https://www.lean.org/lexicon-terms/pull-production/> (дата обращения: 27.07.2026).
69. Kanban. – Текст : электронный // Lean Enterprise Institute : [сайт]. – URL: <https://www.lean.org/lexicon-terms/kanban/> (дата обращения: 27.07.2026).
70. Lean Transformation Framework. – Текст : электронный // Lean Enterprise Institute : [сайт]. – URL: <https://www.lean.org/explore-lean/what-is-lean-thinking/lean-transformation-framework/> (дата обращения: 27.07.2026).
71. Root Cause Analysis. – Текст : электронный // American Society for Quality : [сайт]. – URL: <https://asq.org/quality-resources/root-cause-analysis> (дата обращения: 27.07.2026).
72. Post-harvest losses. – Текст : электронный // Food and Agriculture Organization of the United Nations : [сайт]. – URL: <https://www.fao.org/4/t0522e/t0522e04.htm> (дата обращения: 27.07.2026).

73. SDG Indicator 12.3.1 Global food losses. – Текст : электронный // Food and Agriculture Organization of the United Nations : [сайт]. – URL: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals-data-portal/data/indicators/1231-global-food-losses/> (дата обращения: 27.07.2026).
74. Digital Agriculture and AI Innovation. – Текст : электронный // Food and Agriculture Organization of the United Nations : [сайт]. – URL: <https://www.fao.org/innovation/digital-agriculture-and-ai-innovation/en> (дата обращения: 27.07.2026).
75. Digitalisation of agriculture and rural areas in the EU. – Текст : электронный // European Commission : [сайт]. – URL: https://agriculture.ec.europa.eu/overview-vision-agriculture-food/digitalisation_en (дата обращения: 27.07.2026).
76. RTK 2.0: Prototyping of an RTK network for innovative technological applications in automation and precision farming. – Текст : электронный // EU CAP Network : [сайт]. – URL: <https://eu-cap-network.ec.europa.eu/> (дата обращения: 27.07.2026).
77. ФГИС «Зерно»; ФГИС «Семеноводство». – Текст : электронный // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации : официальный сайт. – URL: <https://mcx.gov.ru/> (дата обращения: 27.07.2026).
78. Национальный проект «Эффективная и конкурентная экономика». – Текст : электронный // Правительство Российской Федерации : официальный сайт. – URL: <https://government.ru/info/54311/> (дата обращения: 27.07.2026).
79. Успеть вовремя. Сельское хозяйство: как развиваться без дополнительного финансирования? – Текст : электронный // Федеральный центр компетенций в сфере производительности труда : [сайт]. – 2023. – 17 февраля. – URL: <https://производительность.рф/> (дата обращения: 27.07.2026).
80. На сельхозпредприятии в Ленобласти внедрили бережливые технологии. – Текст : электронный // Национальные проекты России : [сайт]. – 2026. – 22 июня. – URL: <https://национальныепроекты.рф/> (дата обращения: 27.07.2026).
81. Pejstrup, S. Using Lean to Take Farming to the Next Level in Denmark / S. Pejstrup. – Текст : электронный // Lean Enterprise Institute : [сайт]. – 2014. – 13 March. – URL: <https://www.lean.org/the-lean-post/articles/using-lean-to-take-farming-to-the-next-level-in-denmark/> (дата обращения: 27.07.2026).
82. Hartman, B. The Lean Farm: Better Food, Productivity, and Profits – with Less Work / B. Hartman. – Текст : электронный // Lean Enterprise Institute : [сайт]. – 2018. – 6 February. – URL: <https://www.lean.org/the-lean-post/articles/the-lean-farm-better-food-productivity-and-profits-with-less-work/> (дата обращения: 27.07.2026).

83. Lean & Environment Toolkit. – Текст : электронный // U.S. Environmental Protection Agency : [сайт]. – URL: <https://www.epa.gov/sustainability/lean-environment-toolkit-preface> (дата обращения: 27.07.2026).
84. Модельная методология ESG-рейтингов. – Текст : электронный / Банк России. – Москва : Банк России, 2023. – URL: <https://www.cbr.ru/> (дата обращения: 27.07.2026).
85. Рекомендации и материалы по устойчивому развитию и ESG. – Текст : электронный // Банк России : официальный сайт. – URL: <https://www.cbr.ru/develop/ur/na/> (дата обращения: 27.07.2026).
86. Экономика устойчивого развития и ESG-трансформация аграрного бизнеса / Д. А. Антонова, Т. И. Ашмарина, Т. В. Бирюкова [и др.]. – Москва : ООО "Сам полиграфист", 2024. – 175 с. – ISBN 978-5-00227-190-0.
87. Косов, П. Н. Воспроизводство машинно-тракторного парка аграрного сектора в условиях ESG-трансформаций / П. Н. Косов, Ю. В. Чутчева. – DOI 10.32651/229-25. – Текст : непосредственный // Экономика сельского хозяйства России. – 2022. – № 9. – (Проблемы эффективного хозяйствования). – С. 25-30.
88. ESG-принципы в отрасли овощеводства открытого грунта / Т. И. Ашмарина, Ю. В. Чутчева, Т. В. Бирюкова, Н. А. Ягудаева // Известия Международной академии аграрного образования. – 2023. – № 65. – С. 114-117.

Подписано в печать 08.09.2026.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Тираж 200 экз. Заказ № 72959.

Отпечатано в типографии «Onebook.ru»
ООО «Сам Полиграфист»
109316, г. Москва, Волгоградский проспект,
д. 42, корп. 5, «Технополис Москва».
e-mail: info@onebook.ru
www.onebook.ru