

Ткачев М. В., магистрант, 2 курс. Факультет математики, информационных и авиационных технологий, Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск

ОПТИМИЗАЦИЯ ВНУТРИЦЕХОВОЙ ЛОГИСТИКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. В статье рассматривается проблема неэффективной внутрицеховой транспортировки крупногабаритных деталей в условиях авиационного производства. На примере слесарного цеха крупного авиационного предприятия проведен анализ текущего состояния логистических потоков с применением инструментов бережливого производства (LEAN), в частности, картирования потока создания ценности (VSM) и матрицы SIPOC. Обосновано предлагаемое решение, включающее реорганизацию пространственной структуры участка и внедрение специализированного подъемно-транспортного оборудования. С помощью имитационного моделирования в среде AnyLogic подтверждена работоспособность новой схемы. Приведен расчет экономического эффекта, демонстрирующий сокращение логистических потерь и окупаемость инвестиций в срок менее трех месяцев.

Ключевые слова: бережливое производство, картирование потока создания ценности, производственная логистика, имитационное моделирование, экономическая эффективность, авиационное производство.

Abstract. The article examines the problem of inefficient intra-shop transportation of large-sized parts in aviation manufacturing. Using the example of a fitting shop at a major aviation enterprise, an analysis of the current state of logistics flows was carried out using lean manufacturing tools (LEAN), in particular, Value Stream Mapping (VSM) and the SIPOC matrix. The proposed solution is justified, which includes the reorganization of the spatial structure of the site and the introduction of specialized lifting and transport equipment. The viability of the new

scheme was confirmed using simulation modeling in the AnyLogic environment. The calculation of the economic effect is presented, demonstrating a reduction in logistics losses and a return on investment in less than three months.

Keywords: lean manufacturing, value stream mapping, production logistics, simulation modeling, economic efficiency, aviation production.

Современное авиационное производство характеризуется высокой материалоемкостью, сложной номенклатурой выпускаемых изделий и жесткими требованиями к соблюдению производственного ритма. В этих условиях эффективность внутрицеховой логистики становится критическим фактором, напрямую влияющим на общую производительность и себестоимость продукции. Традиционные подходы к организации перемещения крупногабаритных заготовок часто приводят к образованию «узких мест», простоям дорогостоящего оборудования и нерациональному использованию трудовых ресурсов.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью минимизации временных и ресурсных затрат на транспортировку деталей между технологическими переделами. Целью данной работы является разработка и экономическое обоснование мероприятий по оптимизации транспортной логистики на этапе термической обработки обшивок в слесарном цехе крупного авиационного предприятия.

Для выявления скрытых резервов и системных потерь был применен комплексный подход на основе принципов бережливого производства. Первичный анализ процесса был выполнен с использованием матрицы SIPOC, которая позволила четко определить границы процесса: от поставки листового материала в слесарный цех до его перемещения на межоперационный склад после окончательной обтяжки. Процесс был декомпозирован на 17 последовательных подпроцессов.

Детализация текущего состояния осуществлялась методом картирования потока создания ценности (VSM). Хронометражные наблюдения за 25 циклами работы мостового крана позволили зафиксировать фактические, а не

нормативные временные затраты. Анализ карты текущего состояния выявил критические диспропорции: из общего времени цикла (12,83 часа) время, добавляющее ценность, составляет лишь 4,16 часа. Основные потери (4,3 часа, или 33,5% от общего времени) формируются за счет ожиданий (67,4% от суммы потерь) и излишних перемещений.

Ключевыми проблемами текущего состояния являются:

- Конфликт за ресурс мостового крана, который одновременно обслуживает закалочную печь, транспортировку оснастки и другие параллельные задачи, что приводит к ожиданиям до 2 часов.
- Нарушение норм эргономики и безопасности из-за необходимости маневрирования крана над зонами присутствия персонала.
- Нерациональное использование квалифицированного персонала: функции транспортировщиков вынужденно выполняют слесари, что снижает качество выполнения их основных технологических операций.

В рамках методологии VSM была смоделирована карта идеального состояния, предполагающая полную ликвидацию логистических разрывов (например, путем переноса слесарного участка в непосредственную близость к закалочной печи термического цеха). Однако критический анализ показал нецелесообразность данного варианта из-за колоссальных капитальных затрат на перекладку инженерных сетей, нарушения единого технологического цикла термического цеха и ухудшения условий труда.

В качестве рационального целевого состояния было разработано компромиссное, но высокоэффективное решение, включающее:

Реорганизацию пространственной структуры: создание промежуточного склада обшивок в непосредственной близости к закалочной печи с оборудованием безопасных проездных путей.

Внедрение специализированного оборудования: установку малотоннажной кран-балки, закрепленной исключительно за технологическим

циклом печи, и использование специализированных тележек для подвоза деталей от растяжно-обтяжного пресса к новому складу.

Данная архитектура процесса полностью исключает зависимость операции термообработки от общего мостового крана, локализует грузоподъемные операции в безопасной зоне и минимизирует время строповки грузов.

Для верификации предлагаемого решения и оценки влияния стохастических факторов (вариативность времени операций, доступность оборудования) было проведено имитационное моделирование бизнес-процесса в среде AnyLogic. Сравнение графиков (Рисунок 1-2) утилизации ресурсов в текущей и предлагаемой моделях подтвердило устранение пиковых нагрузок на мостовой кран и стабильность нового логистического потока.

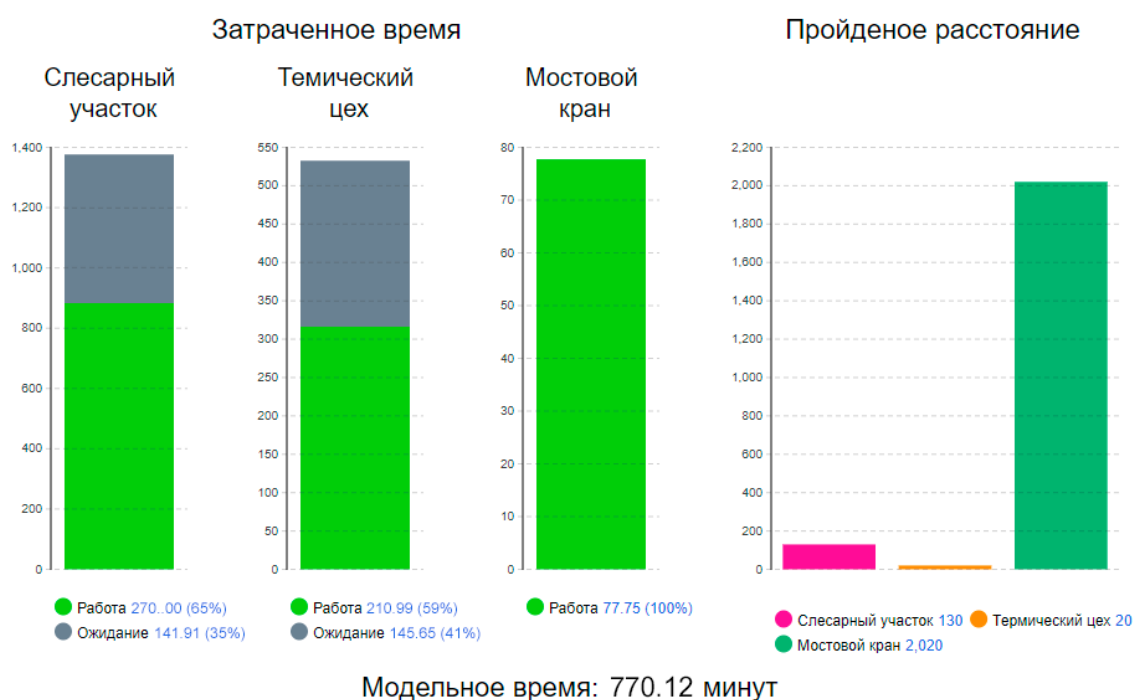


Рисунок 1 – График показателей текущего состояния.

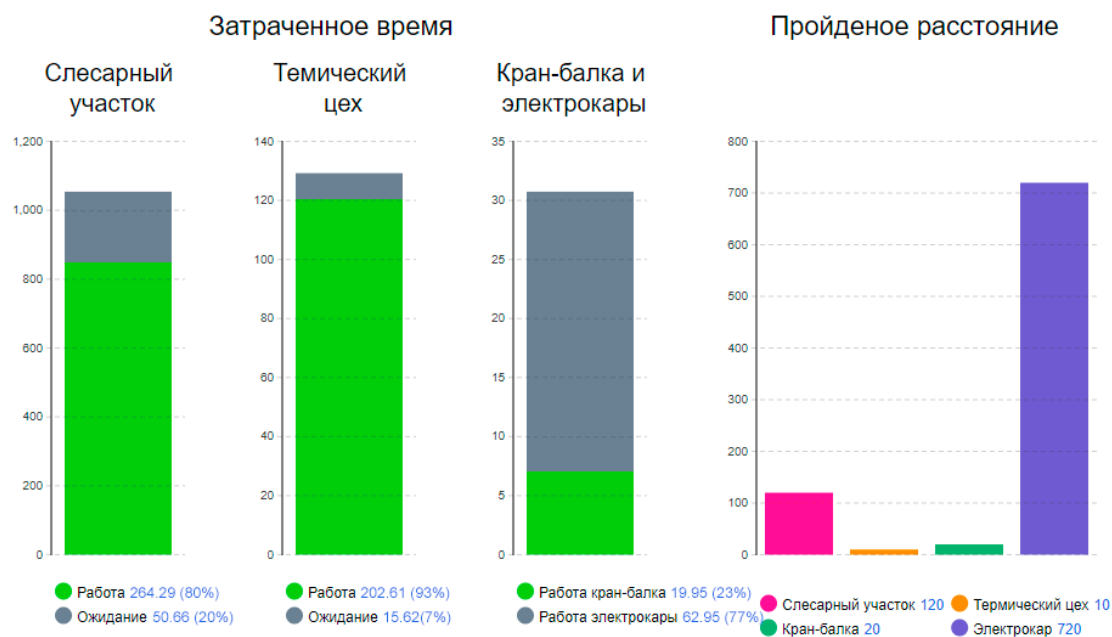


Рисунок 2 – Графики показателей предполагаемого состояния.
Количественные показатели процесса до и после внедрения
представлены в таблице 1-3.

Таблица 1 – Потери процессов текущего и предлагаемого состояний.

Потери процесса						
Виды потерь	До			После		
	Количество по шагам, шт	Время, час	% от суммы потерь	Количество по шагам, шт	Время, час	% от суммы потерь
Потери творческого потенциала	6	0,49	11,5	3	0,13	10,2
Излишние перемещения	5	0,3	6,9	4	0,4	31,2
Дефекты	-	-	-	-	-	-
Перепроизводство	-	-	-	-	-	-
Простои и ожидания	13	2,9	67,4	11	0,6	46,8
Излишняя обработка	-	-	-	-	-	-
Транспортировка	3	0,61	14,2	3	0,15	11,8
Сумма потерь	27	4,3	100	21	1,28	100

Таблица 2 – Показатели процессов текущего и предлагаемого состояний.

Показатели процесса		
Показатели	До	После
Общее количество шагов, шт	17	16
Количество шагов, добавляющих ценность, шт	3	3
Общее время, час	12,83	8,5
Чистое время, час	8,53	6,33
Время, добавляющее ценность, час	4,16	4,16
Потери, час	4,3	2,21
Количество людей, занятых в процессе	14	19
Количество взаимодействий	11	14
Расстояние перемещений, м	2170	910
% бездефектности	100	100

Таблица 3. Сравнение ключевых показателей процесса.

Показатель	Текущее состояние	Предлагаемое состояние	Изменение
Общее время цикла, час	12,83	8,50	-33,7%
Потери времени, час	4,30	1,28	-70,2%
Расстояние перемещений, м	2170	910	-58,1%
Количество шагов процесса, шт	17	16	-1

Экономическая эффективность проекта оценивалась через сопоставление капитальных (CAPEX) и операционных (OPEX) затрат с прогнозируемой экономией.

Суммарные инвестиционные затраты на демонтаж старых конструкций, приобретение и монтаж кран-балки, закупку тележек и оборудование склада составляют порядка 2 100 000 рублей.

Прирост операционных затрат (в основном за счет введения в штат специализированных транспортировщиков, амортизации нового оборудования и расходов на электроэнергию) оценивается в 4 210 000 рублей в год.

Основной экономический эффект формируется за счет двух факторов:

Сокращение простоев закалочной печи. Высвобождение 3 854 часов в год при условной стоимости машино-часа 3 000 рублей дает экономию 11 562 000 рублей.

Высвобождение ресурса мостового крана для выполнения других производственных задач, что оценивается дополнительно в 1 155 000 рублей в год.

Сводный расчет показывает, что чистый годовой экономический эффект составит: $(11\,562\,000 + 1\,155\,000) - 4\,210\,000 = 8\,507\,000$ рублей.

Срок окупаемости капитальных вложений при таком уровне эффективности составляет 0,25 года (около 3 месяцев), что свидетельствует о высокой коммерческой привлекательности проекта.

Помимо прямых финансовых показателей, внедрение обеспечит значимые качественные эффекты: повышение уровня промышленной безопасности, рост ритмичности производства и рациональное использование компетенций квалифицированных слесарей.

Проведенное исследование подтвердило, что применение инструментов бережливого производства в сочетании с имитационным моделированием позволяет выявлять и устранять системные логистические потери в авиационном производстве. Разработанное решение по реорганизации пространства и внедрению специализированной кран-балки в слесарном цехе

исследуемого предприятия является технически реализуемым и экономически высокоэффективным. Результаты работы могут быть использованы в качестве типового решения для оптимизации внутрицеховой логистики на других участках со схожей производственной архитектурой.

Литература

1. Вумек, Дж., Джонс, Д. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Дж. Вумек, Д. Джонс. — М.: Альпина Паблишер, 2020. — 472 с.
2. Ротер, М., Шук, Дж. Учитесь видеть бизнес-процессы. Практика построения карт потоков создания ценности / М. Ротер, Дж. Шук. — М.: Альпина Паблишер, 2016. — 144 с.
3. Карпов, Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю. Г. Карпов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 400 с.
4. Оно, Т. Производственная система Тойоты: уходя от массового производства / Т. Оно. — М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2008. — 189 с.
5. Смирнов, А. В. Организация внутрицеховой логистики на машиностроительных предприятиях: учебное пособие / А. В. Смирнов. — М.: Машиностроение, 2019. — 215 с.

Literature

1. Womack J., Jones D. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Moscow: Alpina Publisher, 2020. 472 p.
2. Rother M., Shook J. Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Waste. Moscow: Alpina Publisher, 2016. 144 p.
3. Karpov Yu. G. Simulation Modeling of Systems: Introduction to Modeling with AnyLogic 5. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2006. 400 p.
4. Ohno T. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Moscow: Institute for Complex Strategic Studies, 2008. 189 p.
5. Smirnov A. V. Organization of Intra-Shop Logistics at Mechanical Engineering Enterprises: a textbook. Moscow: Mashinostroenie, 2019. 215 p.