**Исторический анализ технических систем в прогнозном проекте**

Петр Чуксин, Николай Андреевич Шпаковский

**1. Введение**

Приступая к прогнозному проекту обычно изучаешь опыт предшественников, обращаешься к корифеям. На наш взгляд, наиболее ценные советы можно получить в работе С. С. Литвина и В. М. Герасимова, посвященной дальнему прогнозированию [1]. Но, когда переходишь к практическим действиям, видишь, что этих советов недостаточно и начинаешь дорабатывать что-то свое, по крайней мере так случилось с нами. Наш прогнозный проект включал несколько этапов: подготовительный, информационный, аналитический, решательный, концептуальный, верификационный, внедренческий, послепрогнозный. Опыт показал, что наиболее трудоемкой частью прогнозного проекта, является исторический анализ.

Он дает основную часть работы на информационном, аналитическом и решательном этапах. Кроме того, в рамках обычных, а не прогнозных проектов по совершенствованию технических систем, неизбежно приходится делать экскурс в историю развития изучаемой технической системы. Приходится выяснять, почему одни направления получают дальнейшее развитие и веками не умирают, а наоборот, имеют тенденцию усложняться и развиваться, а другие уходят в забвение. Изучение только технической стороны таких изменений не позволяет делать качественных, надежных выводов. А вот анализ изменений техники на фоне исторических и социально-экономических условий, дает понимание глубинных причин возникновения, развития и угасания техники и технологии. Поэтому мы стали совершенствовать методику исторического анализа в наших консалтинговых проектах.

В качестве примера приведен анализ причин появления, — изобретения первой в мире жатки-стриппера, для очеса растений на корню, ее забвения и нового возрождения. Материалы взяты из прогнозного проекта авторов по оценке перспектив развития различных технологий производства зерна, и очесывающих зерноуборочных устройств.

**2. Методика исторического анализа технической системы в прогнозном проекте**

Цель исторического анализа — построение трендов эволюции для дерева прогноза исследуемой технической системы (ТС) и ее подсистем. При проведении анализа, как правило, уже существует несколько поколений и множество модификаций ТС, предшествующих изучаемой — ТС1, ТС2, ТС3… и т д., а также прото-ТС, система, предшествующая ТС1. Задача исторического анализа — описание и анализ эволюции ТС с момента создания до настоящего времени, выявление тенденций развития ее подсистем. Естественно, что анализируются не все конструкции, а только те, которые обеспечили системе качественный скачок, основали новое поколение ТС.

Предлагаемая методика представляет собой алгоритм обработки информации о развитии ТС. Методика включает три основных блока: блок описания прототипов ТС с помощью моделей; блок анализа причинно-следственных цепочек; блок анализа трендов развития ТС и ее подсистем.

Блок описания прототипов ТС предусматривает разработку ряда моделей, описывающих эту систему: структурной, функциональной, стоимостной, параметрической, а также описание технических недостатков и проблем ТС. Не будем подробно останавливаться на способах разработки таких моделей, поскольку они достаточно хорошо освещены в ТРИЗовской литературе [2]. Отметим лишь, что в отличии от функционально-стоимостного анализа (ФСА), при проведении прогноза, такие модели разрабатываются для каждой базовой машины, нового поколения ТС — прото-ТС, ТС1, ТС2, ТС3… и т. д. Построенные по единой методике такие модели позволяют точнее выявить ведущие тенденции и оценить технические параметры будущей ТС.

Блок анализа причинно-следственных цепочек предусматривает проведение следующих работ: анализ исторических условий на момент создания (модернизации) ТС; анализ социально-экономических условий, вызвавших создание (модернизацию) ТС; анализ доступных ресурсов (материалов, технологий, знаний) на момент создания (модернизации) ТС; сравнительный анализ ТС разных поколений. Это блок выявляет влияние исторических и социально-экономических условий жизни общества на эволюцию ТС.

Блок анализа трендов развития ТС и ее подсистем включает; выявление тенденций развития ТС; выявление тенденций развития рабочего органа, трансмиссии, двигателя. Информация, полученная на предыдущих этапах, и анализ тенденций развития ТС и ее подсистем дает возможность построить дерево эволюции ТС в прошлом. А это, после соответствующего анализа, на последующих этапах, позволяет оценить будущие направления и тенденции, построить прогнозное дерево.

Методика предполагает сопоставление материальных потребностей общества в данную эпоху и, обеспечивающих удовлетворение этих потребностей, технических систем, изобретений. Исторический анализ эволюции ТС дает основной объем информации для аналитического, решательного и концептуального этапов прогноза. Для иллюстрации применения предлагаемой методики, приведен фрагмент исторического анализа галльской жатки, из прогнозного проекта по оценке перспектив развития различных технологий производства зерна, и очесывающих зерноуборочных устройств.

**3. Исторический анализ очесывающей жатки в прогнозном проекте**

Хлеб на протяжении всей истории человечества был важнейшим стратегическим продуктом. Технология его производства постоянно совершенствовалась и совершенствуется. История прогресса в этой области показывает, что технология производства хлеба впрямую зависит от материальных условий жизни общества.

В последние десятилетия получила новое воплощение идея стриппера — Британский институт NIAE, компания British technology group разработали, а компании Shelbourne Reynolds, Massey Fergusson начали выпускать очесывающие устройства — стрипперы к зерноуборочным комбайнам разных типов для уборки зерновых очесом на корню.

Технические системы, для уборки зерна очесом, рассматривавшиеся в прогнозном проекте были следующие: прото-ТС — ручная сноповая уборка серпом; ТС1 — Галльская очесывающая жатка; ТС2 — австралийский стриппер Джона Ридлея, ТС3 — современный австралийский стриппер; ТС4 — очесывающий хедер SR 4200 британской кампании Shelbourne Reynolds; ТС5 — очесывающий адаптер АГСК-4.0 Белорусской кампании АГСК. Ниже приведены краткие результаты исторического анализа для ТС1 — Галльской очесывающей жатки.

**3.1. Описание технической системы**

Галльская жатка, является первым примером механизации уборки урожая, уборки хлебов. Она была изобретена около I в. н. э. в Римской империи, на территории Франции, в то время именуемой Галлией, [2]. По сравнению, с распространенным в то время сноповым методом уборки, она была огромным шагом вперед. В Галльской жатке, для снижения затрат человеческого труда, на уборке урожая, была впервые использована мускульная сила животных. Кроме того, жатка очесывала с растений на корню только колосья, вместо срезания серпом всего растения под корень, при этом способе солома оставалась на поле. Это снижало последующие затраты энергии на обмолот.

**3.1.1. Структурная модель**

Жатка состояла из рамы с коробом на двух колесах, с заостренными металлическими зубьями на передней кромке короба. Для сталкивания оборванных колосьев в желоб служило весло — специальная палка Т-образной формы. В движение, жатку приводили, впряженные сзади, осел или бык. Чтобы не загромождать описания и ввиду простоты устройства, мы не приводим здесь ее структурную модель.

**3.1.2. Функциональная модель**

Рассмотрим подробнее функциональную схему технологического процесса уборки, осуществляемую галльской жаткой (рис 2). Животное — осел, или бык, управляемое (направляемое и подгоняемое) человеком, толкало жатку впереди себя. Зубья жатки прочесывали стеблестой и срывали колосья со стеблей. Второй человек, идущий сбоку, деревянным веслом сталкивал оторванные колосья в короб и разравнивал слой оборванных колосьев. Когда короб наполнялся, очесанные колосья и выбитое зерно перегружали в другое транспортное средство или на полотняный полог.

**3.1.3. Параметрическая модель**

Параметрическая модель описывает технические характеристики прогнозируемой ТС и предшествующих поколений ТС. Наиболее удобно представлять многочисленные параметры разных поколений ТС на радарной диаграмме. Это дает наглядное представление о росте параметров новых поколений ТС и дает прогноз параметров будущей ТС. Для очесывающих устройств оценивались производительность, удельные энерго- и трудозатраты (на единицу убираемой площади), мощность на привод, число подсистем уборочной машины.

**3.1.4. Описание технических недостатков и проблем Галльской жатки**

Технические проблемы и недостатки чаще всего являются причиной, побудительным мотивом модернизации ТС. Поэтому сбору информации о них в нашей методике посвящен этот блок. Перечислим кратко основные недостатки Галльской жатки:

строгие требования к выровненности полей — галопирование и раскачивание жатки вызывает потери;

высокие требования к чистоте посевов — стебли сорняков забивают щели между очесывающими зубьями;

невозможность работы на склонах из-за высыпания колосьев из короба;

потери зерна из - за неочеса низкорослых растений;

низкая плотность вороха и большие транспортные издержки;

**3.2. Анализ причинно-следственных цепочек**

Это раздел позволяет выяснить побудительные мотивы в эволюции ТС, сравнить разные направления развития. Он выявляет влияние исторических и социально-экономических условий жизни общества на эволюцию ТС.

**3.2.1. Анализ исторических условий**

Галлия накануне первого века нашей эры представляла собой обширную, густонаселенную территорию, на которой проживало множество разрозненных кельтских племен. В многочисленных городах, экономических, политических и военных центрах кельтских племен, были развиты торговля и ремесленное производство. Города и селения были связаны развитой сетью дорог.

В период с 58 по 51 гг. до н. э. легионы Юлия Цезаря завоевали всю заальпийскую Галлию, присоединив ее к Римской империи. Став императором, Цезарь провел ряд реформ, имеющих большое значение для провинции: он дал права римского и латинского гражданства провинциалам, привел в порядок и стабилизировал налоговую систему, наделил легионеров-ветеранов крупными земельными наделами на территории Галлии.

Император Октавиан Август (27г. до н. э.-14 г. н. э) закрепил реформы Цезаря. Указы Августа, искусственно понижающие цены на хлеб, привели к специализации в сельском хозяйстве в центре и на периферии. При Августе, во время массовой демобилизации, около ста тысяч бывших легионеров получили земельные наделы в провинциях, большая часть — в Галлии. Они основали здесь крупные виллы, поставлявшие хлеб и другие продукты на рынок для центра империи и провинций. Производство сельхозпродуктов было основным источником доходов владельцев этих вилл.

Вероятнее всего, изобретение галльской жатки, произошло именно на одной из таких ветеранских вилл. Дело в том, что у военных ветеранов, в Галлии было то, чего не было ни у местных галльских вождей, ни тем более у крестьян: крупные земельные наделы; высокое общественное положение, защита власти, низкие налоги; потребность в получении дохода от виллы; недостаток рабочей силы, инженерный опыт и знания, полученные в армии; свободное время для разработки, изготовления испытания, доработки конструкции жатки; деньги, полученные после службы в легионах, ремесленные мастерские, готовые выполнить нужный заказ.

В третьем веке нашей эры в Римской империи начался серьезный кризис в политике, в экономике, сельском хозяйстве. Глубинные причины кризиса — демографические, рост населения превысил продовольственные возможности сельскохозяйственного производства. Хлеба и мяса для всех, уже стало не хватать. Социальное напряжение в обществе возросло. Восстания рабов, набеги германцев и неуверенность в завтрашнем дне привели к переселению собственников вилл в города, под защиту городских укреплений. Параллельно шла деградация экономики. Императоры пытались решить все проблемы путем роста денежных налогов и повинностей. Выросшие налоги переобременили многочисленных владельцев вилл, они разорялись, продавали свои поместья. Земли, перешедшие к крупным собственникам, дробились на мелкие участки и сдавались в аренду колонам, которые расплачивались натуральной и отработочной рентой. Основой сельской экономики стало натуральное хозяйство. Жатка, рассчитанная на большие поля и серьезную организацию работ, была дорогой машиной, недоступной колону. Для уборки хлеба вновь стали применяться исключительно серпы. Заказы на производство жаток сократились, а затем прекратились вовсе.

Войны, восстания, нашествие гуннов, набеги германских племен, распад Римской империи привели к окончательному забвению галльской жатки. Жатку погубили не технические, а демографические, социальные и политические причины.

**3.2.2. Анализ социально-экономических условий**

Стабильность политического положения благодаря присоединению к сильному государству, прекращение крупных войн, благоприятные экономические условия, и, самое главное обилие продовольствия, привели в I - II веках к бурному росту населения и развитию крупных городов — центров торговли. Население Галлии в первом веке н. э., по оценкам историков, составляло около 15-20 миллионов человек.

В Риме, во времена правления Августа, 100-150 тысяч бедных граждан ежедневно получали даровой хлеб и другие продукты от императора и государства, в других городах такое же продовольственное обеспечение поддерживали декурионы. Откуда же брался этот даровой хлеб? Продовольственные потребности населения империи в хлебе удовлетворял импорт зерна из провинций, прежде всего из Египта, Сицилии, Сардинии. В конце 1 в. до н. э. к ним присоединилась Галлия. Следует отметить, что излишки хлеба в Галлии возникли благодаря тому, что здесь, накануне присоединения к Римской империи, получил распространение трехпольный севооборот. Трехпольный севооборот резко, почти в 2 увеличил урожаи, уменьшив при этом трудоемкость производства зерна — не нужна была раскорчевка леса, как при переложном земледелии. Но, большой урожай требовал увеличения количества работников (но только — на время уборки), либо замены ручного труда механизированным. Следовательно, в Галлии к концу первого века до нашей эры были не только условия, но была и необходимость в повышении производительности труда в земледелии.

**3.2.3. Анализ доступных ресурсов**

Предыдущий анализ показывает, что появление подобной жатки было вполне закономерным явлением, логично вытекающим из потребностей тогдашнего общества. Но, любая удачная идея, даже тщательно продуманная и просчитанная, не может реализоваться, если для этого нет подходящих материальных и экономических условий — ресурсов. Попробуем выяснить, были ли подходящие ресурсы в Галлии.

В Галлии была необходимость в увеличении производительности труда в земледелии, во- первых, потому что от этого зависел доход землевладельцев, во-вторых, чтобы удовлетворить потребности в хлебе метрополии, и, наконец, в-третьих, потому что этого требовали увеличившиеся урожаи при трехпольном севообророте.

В Галлии были интеллектуальные возможности для изобретения жатки, поскольку уровень сельскохозяйственных знаний был высок, а землевладельцы, бывшие легионеры, обладали инженерными знаниями. У них было время и деньги для разработки, изготовления, испытания, доработки конструкции жатки.

В Галлии были условия для внедрения подобной жатки: крупные земельные наделы, которые было выгодно обрабатывать таким способом, рациональные хозяева вилл, стремящиеся к большим доходам, наличие у них денежных ресурсов для заказа дорогостоящих деталей, низкие налоги и защита власти.

В Галлии были ресурсы для практического исполнения подобного изобретения — наличие залежей металлов, развитая металлургия, высокая квалификация ремесленников. Железные инструменты и орудия применялись весьма широко, в том числе и в сельском хозяйстве. Из железа делались топоры, лопаты, заступы, вилы, кирки, мотыги, серпы, косы, а также лемехи и плуги. Соответственно, была возможность создать и металлические детали для жатки как благодаря наличию сырья, так и высокой квалификации мастеров.

Проведенный анализ показывает, что в Галлии накануне новой эры были все необходимые ресурсы для создания и внедрения очесывающей жатки для уборки зерна.

**3.2.4. Сравнительный анализ Галльской жатки и снопового метода уборки**

Срезание растений серпом при сноповом методе уборки было лимитирующим фактором, который сдерживал производительность, поскольку эту сложную операцию мог выполнить исключительно человек. Серп, главное орудие уборки, был сделан «под человека», с учетом его антропологического строения, энергоэкономных движений, силы рук, определенных интеллектуальных усилий — нужно согласовывать положение и усилия рук при замахе и срезе, описывать серпом особую траекторию. Именно эту часть процесса следовало улучшать в первую очередь. Чтобы использовать для срезания растений мускульную силу животных необходимо было резко упростить траекторию движения режущего рабочего органа до прямолинейного механического. То есть, нужно устройство, которое срезает колосья прямолинейным движением и делает это широким фронтом.

Осознание этих требований, видимо, привело к тому, что главный рабочий орган жатки имеет вид широкого ряда острозаточенных параллельных зубьев. Вместо одного пучка, захватываемого рукой, стало много пучков, которые формируются сужающимися носками зубьев. Вместо одного пучка, срезаемого серпом, стало много пучков, срезаемых острыми кромками зубьев. Но зубья срезали колосья не так эффективно как серп. Поэтому потребовался дополнительный рабочий орган — палка Т образной формы, которой не срезанные колосья обламывались и сбрасывались в короб.

**3.2.5. Анализ тенденций развития ТС и подсистем**

Тенденции развития для ТС и подсистем строятся на основании информации о преобразованиях ТС и ее основных рабочих органов в процессе эволюции, полученной в ходе предшествующих этапов исторического анализа. Тренды для очесывающих устройств, например, строились после анализа всех базовых конструкций — прото-ТС, ТС1, ТС2, ТС3, ТС4, ТС5. Анализ показал, что главной тенденцией развития очесывающих устройств было расширение их функций за счет присоединения дополнительных подсистем. Это положение согласуется с положением И.Девойно о расширении функций ТС в процессе эволюции [3]. Интересен факт, что подсистемы осуществляли переход из надсистемы в подсистему очесывающее устройство, а не наоборот, как это следует из закономерностей развития ТС.

При анализе тенденций развития подсистем строится графическая модель — дерево прогноза или прогнозная карта для каждой из подсистем. Методика построения такой карты приведена нами в работе Constructing Forecast Maps of Engineering System Development, поэтому здесь мы не будем останавливаться на этом вопросе [4]. Отметим лишь, что для очесывающего рабочего органа нами были выделены три основные тенденции:

Моно-би-поли.

Динамизация.

Переход на микроуровень.

Был проведен анализ тенденций для стеблеподающих рабочих органов, трансмиссии, молотилки, двигателя. Они не приводятся в данной статье ввиду большого объема материала.

**4. Обсуждение результатов. Выводы**

Приведенные результаты являются частью реального прогнозного проекта по оценке перспектив развития различных технологий производства зерна, и очесывающих зерноуборочных устройств.

Методика включает в себя широко опробованные и хорошо зарекомендовавшие себя методы построения моделей ТС.

В предлагаемой методике модели строятся для нескольких поколений ТС, что дает возможность легче провести их сравнительный анализ.

Оригинальной является методика выявления трендов эволюции ТС и ее подсистем и построения дерева прогноза.

Элементы предлагаемой методики прошли апробацию в нескольких консалтинговых проектах компании LG.

К недостаткам предлагаемой методики следует отнести высокую трудоемкость проведения исторического анализа.

**Список литературы**

Литвин С.С. Герасимов В.М. Дальнее прогнозирование технических систем. Рукопись, 1987

Peter James, Nick Thorpe Ancient Inventions New-York: Ballantine Books, 1994

Девойно И.Г. Развите технических систем. Журнал ТРИЗ, 1991 том 2, №1

Nikolay Shpakovsky, Peter Chuksin. Constructing Forecast Maps of Engineering System Development. World Сonference TRIZ Future 2001 report. Bath 2001