

УДК: 002.6:004.89

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАКОПЛЕНИЯ ОПЫТА ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ВИРТУАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕРВИСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

В.Н. Попов, А.Б. Батырева

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики"

Л.И. Ковтун, И.П. Бояров

Крыловский государственный научный центр

Аннотация: Для сервиса технологической подготовки производства отработаны методы автоматизации накопления знаний и опыта по оптимизации технологических процессов и минимизации рисков распределенного виртуального производства. В результате, повышается качество проектирования и сокращается время технологической подготовки производства. Формирование единой централизованной базы данных/знаний сервиса позволяет фрагменты технологического процесса разных субъектов виртуального производства объединять в едином технологическом процессе без рисков не состыковки его отдельных параметров. Что обеспечивает, в конечном итоге, существенное сокращение времени и расходов на само производство.

Ключевые слова: «цифровые фабрики», автоматизированные системы технологической подготовки производства, территориально распределенные виртуальные производства.

CO-AUTOMATION OF ACCUMULATION OF EXPERIENCE IN OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MINIMIZING THE RISKS OF DISTRIBUTED VIRTUAL PRODUCTION DURING THE OPERATION OF THE COMPUTER-AIDED PROCESS PLANNING SERVICE

V. Popov, A. Batyreva

ITMO University

L. Kovtun, I. Boyarov

Krylov state scientific center

Abstract: For the service of the Computer-Aided Process Planning (CAPP) methods have been developed for automating the accumulation of knowledge and experience in order to optimize technological processes (TP) and minimize the risks of production. As a result, the quality of design has been improved and the time for CAPP has been reduced. According to the unified centralized database\ knowledge base service, fragments of TP of different subjects of production can be combined in a single TP without risks of not joining their individual parameters. It will provide a significant reduction in time and costs for the TPP, and ultimately, for the production itself.

Key words: "Digital factories", technological preparation of production, automated systems of the technological preparation of production, territorially distributed virtual production.

Введение. Любое успешное развивающееся предприятие, чтобы быть конкурентоспособным, не отставать от современных трендов, поддерживать спрос на свою продукцию, должно постоянно проводить реновации всей своей продуктовой линейки с учетом доступности новых технологий. Выпуск новой продукции в свою очередь влечет за собой значительные расходы на технологическую подготовку производства. Что не просто совмещать с принципами экономного производства. В связи с неопределенностью

рынка и постоянно меняющимися трендами возникают риски потерь или неэффективности использования доступных финансовых ресурсов, особенно при закупке дорогостоящего оборудования.

В качестве экономичного инструментария для повышения скорости и качества проектирования технологических процессов (ТП), технологической подготовки производства (ТПП) в целом, внедрения методов виртуального производства в практику работы предприятий, был предложен инструментарий портала веб сервиса ТПП. В настоящее время создан макет сервиса уже доступный в интернет [1], на котором, в ходе обслуживания первых предприятий – клиентов сервиса, проходят испытания, пуско-наладка и развитие его функционала.

Постановка задачи. Целью исследования было создание условий для эффективного развития качества услуг веб сервиса ТПП, дальнейшего сокращения времени и затрат на выпуск продукции предприятий приборостроения и машиностроения, путем автоматизации накопления знаний и опыта по оптимизации технологических процессов и минимизации производственных рисков. Что крайне необходимо для проведения эффективной технологической модернизации предприятий в условиях жесткого ограничения финансовых, материальных и высококвалифицированных кадровых ресурсов. А в конечном итоге обеспечивает сокращение времени и расходов предприятий-клиентов сервиса на внедрение новых технологий, на эффективную реструктуризацию и технологическую модернизацию их производства в целом.

В какой-то степени накопление опыта проектирования ТП осуществлялось и ранее, в ручном режиме. Технолог-эксперт мог оценивать и размещать качественно отработанные ТП в библиотеке типовых, используемых в качестве прототипов разрабатываемым ТП. Однако такое накопление опыта проектирования в ручном режиме, при эксплуатации локальных (используемых в рамках одного предприятия) автоматизированных систем ТПП (АСТПП), хотя и полезно, но крайне малоэффективно.

Для реализации поставленной цели исследований потребовалось разработать новые методы оценки качества и «оптимальности» ТП с использованием новой, расширенной, системы кодирования характеристик деталей и ТП, проектируемых уже не локальными АСТПП, а сервисом ТПП. Полномасштабное развертывание впервые создаваемого веб-сервиса ТПП, обеспечивающего эффективную технологическую модернизацию производства его клиентов, требует решения целого ряда сложных научно-технических задач. Часть из них, связанная с автоматизацией накопления в ходе эксплуатации сервиса опыта оптимизации технологических процессов и минимизации рисков распределенного виртуального производства рассмотрена в этой статье.

Методы и материалы исследований. При выборе методов исследований следовало учитывать, что опыт и знания, являются интеллектуальным, сложно формализуемым продуктом, создаваемым технологами и др. экспертами в области технологической подготовки производства. Поэтому одной из важных задач проведенных исследований являлась формализация этих знаний, в форме, в форматах, согласующихся с форматами параметров ТП, уже хранимых в базах данных и базах знаний (БД/БЗ) сервиса. Отчасти этим был обусловлен выбор в качестве основных - методов системного и инженерного анализа, а уже во вторую очередь:

– методов оптимизации больших разнородных технических систем. Построение и работа с локальными экстремумами целевых функций оптимизации ТПП, осложнены многофакторностью выбора критериев оптимизации в условиях неполноты и неопределенности информации о части параметров технологической подготовки производства;

– методов кодирования многочисленных характеристик, факторов производства, что для сервиса ТПП – не тривиальная задача.

Далее рассмотрим методы и результаты решения задач, сопряженных с достижением поставленной цели исследований в условиях действующих трендов развития машиностроения, систем проектирования и инженерного анализа, используемых

современными, активно развивающимися предприятиями в ходе ТПП их продукции.

Предварительно следует рассмотреть тенденции, складывающиеся в области машиностроительного производства, систем проектирования и других инженерных систем на современных, активно развивающихся предприятиях, оценить условия, в которых решаются поставленные задачи. Сейчас вопросы повышения эффективности ТПП [2] все более переплетаются со смежными этапами полного жизненного цикла продукции. Принципы работы гибких интегрированных автоматизированных производств в «цифровую эпоху» становятся доступными широкому кругу пользователей. Тем более, наиболее экономичный доступ, на новом уровне современных систем проектирования, промышленным предприятиям обеспечивает веб сервис ТПП [1, 3].

В этих условиях наблюдается смещение акцентов от просто автоматизации ТПП (традиционных систем АСТПП) к комплексным системам управления производством и «цифровым фабрикам» [4, 5].

Однако расходы на приобретение высокопроизводительных многофункциональных центров могут покрываться только при наличии постоянно высокого спроса на выпускаемую ими продукцию. Под следующую партию может потребоваться несколько иное оборудование, а чем оборудование более многофункционально, тем оно дороже. Это касается и программных систем подготовки и управления производством. Бесконечно расширять функциональность систем комплексного управления производством невозможно для каждого отдельно взятого предприятия, если это только не самые крупные компании, например, масштаба Airbus SE.

Поэтому сервисные услуги аутсорсинга ТПП могут существенно сокращать затраты предприятий на приобретение и обслуживание локальных – эксплуатируемых одним предприятием - инженерных систем и на ТПП в целом. А территориально распределенные виртуальные предприятия (РВП), работающие по схемам промышленной кооперации, – сокращать расходы на приобретение оборудования (чаще уникального), на

производство в целом. Следует учитывать, что продукция обрабатывающих центров почти всегда также не является конечной. Оптимизировать логистику последующих операций обработки, как и логистику заготовительного производства, необходимо в связи со множеством факторов ТПП.

Для качественной оптимизации этих операций, всех производственных процессов с учетом возможностей РВП, дополняющих возможности традиционных предприятий, необходимо использовать решения класса АСТПП, но уже самого последнего поколения, создаваемые в рамках сервиса ТПП. Ибо даже самые современные, очень дорогие системы управления интегрированным цифровым производством не обладают в достаточной степени развитыми интерфейсами между цифровым двойником продукции и производственными системами. Технические решения сервиса ТПП восполняют этот пробел. В составе систем проектирования ТП сервиса [1], такие решения уже созданы и продолжают развиваться.

Подготовку и управление производством, эффективное взаимодействие проектантов-конструкторов с системами эксплуатации – утилизации часто усложняет использование проектантами, головным предприятием-изготовителем и его субподрядчиками различных САД и др. инженерных систем. Для подготовки выпуска современной продукции машиностроения часто нужны и специализированные системы моделирования, инженерного анализа и проектирования.

Каждой из организаций весьма дорого обходится полный набор лицензий разнородных средств проектирования, еще дороже кадры, способные работать в нескольких таких системах. Аутсорсинг ТПП нашего портала [1, 3], сокращает и эти расходы, предоставляя услуги использования и данных специализированных систем. Базисные же услуги сервиса по проектированию и оптимизации ТП за счет сокращения в 2-3 и более раз времени и расходов на разработку ТП обеспечивают значительное сокращение затрат на ТПП и производство в целом. Что достигается за счет оптимизации технологических операций, их маршрутов,

оптимизации логистики перемещения заготовок, узлов и так далее. Конечно, волатильность оценок сокращения времени, затрат на ТПП и самого производство в целом очень велика. Их оценки сильно зависят от характера производства и многих факторов, определяющих уровень технологического уклада конкретного предприятия. Они могут лежать в интервале от десятков процентов до 3-5 и более раз.

Формализация знаний о ТПП, традиционно происходит с использованием кодов описания конструктивных и технологических характеристик деталей, узлов, сборок и процессов их изготовления. Эти коды регламентируются ГОСТ или документами ЕСКД-ЕСТД (Единые системы конструкторской и технологической документации), или их международными аналогами ISO и зарубежными национальными

документами о подобном кодировании. Это системы кодирования: КК-3 -японская, голландская MICLASS, американская DCLASS, чешская Vuoso-Praha, британская Brish и немецкая система Опитца – межнациональный, де-факто, стандарт.

В ходе разработки – синтеза ТП, их оптимизации, минимизации производственных рисков и т. д., сервис ТПП использует для этого существенно расширенную систему ЕСКД-ЕСТД кодирования в форме и форматах, согласующихся с форматами параметров ТП, хранимых в (БД/БЗ) локальной системы АСТПП КСАПР ТП [6]. Эта система лежала в основе разработки подсистемы проектирования ТП сервиса ТПП. В целях совместимости с другими системами проектирования сервис ТПП имеет интерфейсы для формирования запросов к сервису и на основе строгих ЕСКД-ЕСТД кодов и кодов Опитца.

Таблица 1

Элемент кода ТП - «Статус»

Статус ТП:	Код статуса ТП:	Весовой коэффициент статуса ТП	Весовой коэффициент повторного использования ТП
Находится в разработке	RR	1	1
Помещен в архив САПР	AR	2	1
Передан заказчику	NZ	3	1
Принят заказчиком	PZ	6	2
Выбран заказчиком из БД типовых ТП	VZ	6	2
Использован в качестве прототипа N1 раз	NP	3 x N1	2
Позиция ТП на шкале стоимости трудовых ресурсов прототипов ТП. % STT – интервала оценки стоимости ресурса	PT	% STT	1
Позиция ТП на шкале стоимости материальных ресурсов прототипов ТП. % STM - интервала оценки стоимости ресурса	PM	% STM	1
Предложен партнерам по РВП	VP	3	1
Выставлен на продажу предприятием имеющим рейтинг N2	VR	3 x N2	1
Выставлен на продажу КТБ имеющим рейтинг N3	KR	6 x N3	2
Использован партнером по РВП	JV	10	3

В результате проведенных исследований строгие коды ЕСКД-ЕСТД, были дополнены кодами расширенной номенклатуры машин, классификации их деталей и др. структурных

единиц проектируемых изделий. Дополнены кодами расширенной номенклатуры типов операции ТПП, кодов расширенной номенклатуры описания форм поверхностей,

кодами описания детализации требований к организации промышленной кооперации с использованием методов виртуального производства. В результате такого подхода создаются предпосылки более точного выделения кластеров ТП, более глубокой адресной оптимизации ТП. Также были созданы коды, используемые подсистемами сервиса при автоматизации накопления знаний и опыта оптимизации ТП, минимизации рисков РВП, для управления этими процессами. В табл. 1 представлен небольшой фрагмент элементов расширенного кода, отражающих статус ТП в ходе его использования системами сервиса для управления накоплением этих знаний и опыта в БД/БЗ сервиса.

Конечно, методы и алгоритмы оптимизации ТП, минимизации производственных рисков, как и способы накопления опыта и знаний по их осуществлению, значительно отличаются для разных типов предприятий:

1. Кластер предприятий ВПК (военно-промышленного комплекса) и других, работающих с технологиями ограниченного доступа;
2. Кластер преимущественно малых или предприятий, начинающих свое развитие и технологическое перевооружение. Для них опыт оптимизации ТП в общем случае доступен только на основе использования механизмов работы сервиса с обезличенными расширенными кодами технологических процессов, без привязки к 3D моделям. Накопление опыта и знаний в ходе эксплуатации сервиса, происходит за счет включения в структуры этих кодов, параметров, характеризующих минимизацию производственных рисков и оптимизацию ТП по соответствующим критериям и целевым функциям оптимизации ТП.
3. Кластер предприятий, использующих механизмы сервиса по созданию виртуальных, территориально распределенных (в общем случае) предприятий.

Все услуги сервиса ТПП предоставляются как специалистами и системами непосредственно сервиса, так и специализированными конструкторско-технологическими бюро, производителями уникального оборудования и материалов.

Последние, выступая не только клиентами услуг сервиса, но и исполнителями заказов промышленных предприятий, могут им предоставить специализированные услуги из набора редких и наиболее инновационных – «из одной точки обслуживания», с гарантией их качества, что особенно важно для развертывания РВП с минимумом затрат и рисков.

Организация распределенного виртуального производства (РВП), другими словами, промышленная кооперация по выпуску новой продукции, очень перспективна с позиций сокращения производственных затрат и осуществления поэтапной глубокой технологической модернизации производства при минимальных расходах на ее проведение. Однако, несмотря на то, что теория организации РВП в настоящее время глубоко проработана (см. например, монографию [8]) и даже российские КИС [9] включают ERP-функционал управления РВП, методы виртуального производства широко применяют только крупнейшие западные компании. Небольшое исключение составляют малые предприятия Германии, обеспечивающие существенный по величине вклад в ее ВВП (валовой внутренний продукт). Это объясняется значительными для подавляющего большинства предприятий объемами работ по согласованию многочисленных факторов и параметров ТПП с целью минимизации высоких (в общем случае) рисков РВП.

С организацией РВП одни его субъекты получают доступ к высокотехнологичному (высокопроизводительному или высокоточному) оборудованию без рискованного замораживания средств на его приобретение при выпуске продукции партиями, недостаточными для того, чтобы эти затраты окупились. Другие субъекты РВП обеспечивают для себя возможность планирования: а) постоянной равномерной загрузки своего оборудования, не ритмично используемого по причине выполнения заказов на продукцию другого профиля или по некоторым параметрам уже не подходящего для выпуска отдельных позиций новой продукции; б) планирования приобретения и загрузки необходимого нового высокотехнологичного оборудования.

Но организация РВП также сопряжена со многими рисками. От банальных возможностей нарваться на недобросовестного партнера, что частично преодолевается с использованием информационных ресурсов о надежности контрагента. Гораздо труднее обеспечить минимизацию рисков, связанных с распределенным производством продукции несколькими, даже вполне добросовестными и надежными предприятиями из-за неполноты и сложностей сопоставления больших объемов информации о технологических процессах, даже вполне соответствующих требованиям ГОСТ, ИСО, ЕСТД – на уровне конечных документов ТПП.

Для оценки и минимизации рисков РВП используется подход на основе «матрицы рисков» (МР). Для каждого процесса, элемента РВП, ТП, отдельные операции которого разнесены между участниками РВП, в МР заносятся объекты описания риска, оценки уровня риска (высокий, умеренный, низкий) и вероятности риска. Выделяется пять категорий А, В, С, D, Е вероятности риска, от А – ситуация, в которой возникает риск, наступает почти всегда, до категории Е – это та разновидность рисков, которые возникают крайне редко. Для каждого процесса, элемента РВП, ТП в МР заносятся основные последствия риска, тяжесть последствий и характер рекомендуемых действий. Например, для процесса «Согласование проектных данных операций, распределенных между партнерами по РВП» выделяются риски «Ошибки проектных данных»: унаследованные от проектанта заказчика (с уровнем «Умеренный», вероятностью D) и вызванные неточной передачей между САД системами заказчика и исполнителя РВП (с уровнем «Высокий», вероятностью С). Риски несоответствия: отраслевым и международным стандартам (с уровнем «Низкий», вероятностью D) и стандартам предприятия (с уровнем «Высокий», вероятностью С). Пока в качестве базисного функционала по работе сервиса ТПП с рисками РВП принята методология обсчета и анализа рисков РВП описанная в работе [7], но работы по ее совершенствованию продолжаются.

Полученные результаты. Были отработаны методы автоматизации накопления опыта

оптимизации ТП и минимизации рисков РВП. В результате:

- по формируемой единой централизованной БД\БЗ сервиса, фрагменты ТП разных субъектов РВП могут быть объединены в едином ТП без рисков не состыковки их отдельных параметров;
- сервис заменяет колоссальный объем кропотливого «ручного» труда экспертов предприятий по изучению проблем совместимости ТП и других рисков РВП. Очевидно, что без автоматизированного анализа и использования централизованных БД сервиса, а только в полуручном режиме анализа БД локальных АСТПП, создание эффективных предприятий РВП – крайне трудоемкая и дорогостоящая работа.

В ходе отработки методов оптимизации ТП были решены проблемы, связанные с многофакторностью выбора критериев оптимизации, разнообразия целевых функций, с приданием числовых значений весовым показателям этих целевых функций - в зависимости от решаемых производственных задач и др.

Новизна и практическая значимость представленных в статье результатов определяется тем, что только коллективу под руководством авторов публикации к настоящему времени удалось создать рабочий макет сервиса ТПП. Автоматизация же накопления опыта и знаний экспертов по оптимизации ТП - это еще один существенный шаг по развитию возможностей сервиса ТПП.

Выводы. Актуальность и значимость решаемых задач автоматизации накопления знаний и опыта оптимизации ТП, минимизации рисков РВП, как и создания сервиса в целом, трудно переоценить. С их программной реализацией сервис [1] продолжит обеспечивать существенное сокращение времени и расходов на ТПП, а в конечном итоге, и на само производство.

Литература.

1. Рабочий макет сервиса ТПП – полный клиентский доступ после регистрации на URL: <http://www.tehnolog-service.ru/>
2. Л.И. Зильбербург, И.И. Молочник, Е.И. Яблочников. Информационные технологии в проектировании и производстве. – СПб: Политехника, 2008. 304 с.

3. Попов В.Н., Кораблев А.В. Интеллектуальные высокопроизводительные методы автоматизированного проектирования технологических процессов машиностроительной продукции в веб среде. СПб, 2016, URL: http://технологии-инноваций.рф/140t_tehnologii1.html
4. Боровков А.И. и др. Многоуровневая структура фабрик будущего. 2017-2019, ОФИЦИАЛЬНЫЙ САЙТ АССОЦИАЦИИ «ТЕХНЕТ», URL: <https://technet-nti.ru/article/fabriki-buducshego>
5. Manufacturing USA A Third-Party Evaluation of Program Design and Progress January 2017. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-mfg-manufacturing-USA-program-and-process.pdf>
6. Рудой В.З. Система КСАПТП. URL: <https://www.korabel.ru/forum/theme/2869.html>
7. Ковтун Л.И. Прогнозирование рисков и мер их снижения в задачах корабельных АСУ на основе теории нечеткого моделирования и точных расчетов параметров аварийных процессов. Материалы конференции ОАО «Концерн Морские информационные системы – Агат». Апрель 2011 г. стр. 145 -150.
8. Катаев А.В. Виртуальные бизнес-организации. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. – 120 с.
9. Решение Галактика МСМ URL: <https://www.galaktika.ru/amm/mcm>