

УДК 621.9, 658.5

10.18698/0536-1044-2016-10-73-81

Роль и значение PDM-систем при разработке технологического оборудования

П.Г. Тимофеев, А.Г. Ягопольский

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

The Role and Significance of PDM Systems in the Development of Manufacturing Equipment

P.G. Timofeev, A.G. Jagopolsky

BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1



e-mail: timgtu@mail.ru



Исследованы методы повышения эффективности процессов создания технологического оборудования с помощью PDM-систем. Определена важность постоянного взаимодействия заказчика, разработчика и изготовителя технологического оборудования при формировании входных параметров проектно-конструкторского процесса. Проанализированы составляющие обобщенной модели требуемого технологического оборудования на примере формирования исходных данных для создания металлорежущего станка. Приведена характеристика PDM-систем в условиях современного производства как инструмента организации взаимодействия всех участников создания технологического оборудования в рамках единого информационного пространства. Предложена обобщенная схема организации работ под управлением PDM-систем.

Ключевые слова: технологическое оборудование, проектирование, жизненный цикл, управление данными, проект, разработчик, заказчик, изготовитель, станок, единое информационное пространство, CALS, PDM-система.



Methods of improving the efficiency of the processes when designing manufacturing equipment using PDM-systems is investigated in this paper. It highlights the importance of continuous interaction between the client, designer and producer of manufacturing equipment when the input parameters of the design process are being determined. The constituents of a generalized model of the required manufacturing equipment are analyzed using the example of determining input data for designing a metal-cutting machine-tool. The authors describe the characteristics of the PDM-system as a tool for organizing interaction between all the participants involved in the development of manufacturing equipment within common information space.

Keywords: manufacturing equipment, design, life cycle, data management, project, designer, client, manufacturer, machine tool, common information space, CALS, PDM-system.

Для успешного существования в современных условиях предприятие должно либо непрерывно совершенствовать потребительские свойства выпускаемых изделий при условии сохранения конкурентоспособной цены, либо предлагать рынку принципиально новые образцы продук-

ции. Тенденция постоянного уменьшения жизненного цикла изделия (ЖЦИ) становится характерной особенностью современного производства, что приводит к значительным структурным изменениям в промышленности [1]. При этом одной из важнейших характеристик

современного производства является его гибкость. В настоящее время это понятие включает в себя множество составляющих, в том числе гибкость номенклатуры, технологического маршрута и программы выпуска изделий. Современное предприятие должно обладать таким технологическим потенциалом, который в зависимости от ситуации на рынке мог бы позволить либо резко изменить объемы выпускаемой продукции, либо быстро и с минимальными затратами перейти на производство новых изделий.

Существует множество факторов, которые формируют облик предприятия, определяя его специфику, потенциал и конкурентоспособность. Однако в первую очередь следует отметить средства выполнения технологического процесса, которые включают в себя технологическое оборудование (ТО) и технологическую оснастку. Примерами ТО являются прессы, металлорежущие станки, литейные машины, прокатные станы, печи и т. д. — совокупность узлов и механизмов, реализующих определенную схему технологического процесса, конструктивное исполнение которых позволяет разместить в них материалы или заготовки, средства воздействия, а также технологическую оснастку. Совокупность ТО образует основные фонды предприятия. Несмотря на значительное разнообразие физических принципов, реализуемых различным ТО, процедуры формирования исходных требований к каждой конкретной конструкции основаны на всестороннем анализе технологической среды, в которой будет существовать ТО, и на синтезе области допустимых значений параметров конструкции.

Формирование исходных требований к ТО должно строиться на принципах системного подхода, что может обеспечить согласованное развитие всех элементов производства: технологических процессов, оборудования, оснастки, предметов труда, документации и т. д. Это позволит не только сократить излишнее разнообразие технологических процессов и средств их выполнения, но и повысить эффективность производства путем выбора экономически более целесообразного варианта технологии. Таким образом, несмотря на значительные конструктивные различия технологических машин, процедуры определения входных данных для их проектирования и области допустимых значений параметров конструкций должны строиться на общих принципах. Информационной

средой для объединения всех проектных данных, а также различных элементов производства является единое информационное пространство (ЕИП) проектирования технологической машины.

Цель работы — определение роли и значения системы PDM (Product Data Management — система управления данными об изделии) при формировании обобщенной модели проектируемой технологической машины на примере металлорежущего станка.

Создание современного станка представляет собой сложный многостадийный процесс, в котором задействованы специалисты из различных областей знаний. При проектировании станка возникает множество частных задач, определенных различными вариантами реализации отдельных узлов и механизмов конструкции, а также заданными условиями эксплуатации и производства. Эти условия определяют некоторую область допустимых конструктивных решений, из которых требуется выбрать оптимальный вариант конструкции станка. При этом критерии выбора конструкции станка могут претерпевать изменения по мере развития знаний об объекте проектирования. Современное производство характеризуется частой сменой номенклатуры выпускаемых изделий, при том что рациональные сроки нахождения в парке ТО многоцелевых станков с автоматической сменой инструмента составляют 8–10 лет, а тяжелых и уникальных станков — 20–25 лет [2].

Таким образом, разработка станков с учетом только актуальных технологических задач может вызвать в будущем дополнительные затраты на переналадку, а избыточность ТО, как правило, не оправдана экономически. Исходные данные, определяющие ход дальнейшего процесса создания станка, а следовательно, достижимый уровень показателей его качества, принимаются на начальных стадиях проектирования — в тесном взаимодействии заказчика и разработчика и условиях дефицита информации о будущем станке.

Назначение ключевых параметров будущего станка на начальных этапах проектирования представляет собой комплексную задачу, которая должна учитывать показатели: функционирования, надежности, технологичности, а также экономические, патентно-правовые, эргономические и др. Таким образом, решение задачи определения оптимального варианта конструк-

ции станка на начальных этапах проектно-конструкторского процесса не является прерогативой конструктора и требует согласованной работы специалистов различных областей знаний [3]. В этом случае рабочей средой выступает ЕИП, практическая реализация которого может быть осуществлена на базе систем класса PDM.

Современное предприятие должно выработать стратегию развития парка ТО, предполагающую формирование перспективной модели каждого класса технологических машин, которые в совокупности должны создавать достаточную и экономически целесообразную технологическую среду, соответствующую текущим и перспективным задачам предприятия. При этом более предпочтительным может оказаться вариант технологической машины, в наибольшей степени соответствующий концепции развития предприятия, пусть и уступающий конкурентным аналогам по конструктивному исполнению. Разработанные обобщенные модели оборудования позволят оценить степень соответствия имеющегося парка ТО текущим или предполагаемым задачам предприятия. На основе проведенной оценки предприятие принимает один из следующих вариантов развития событий:

- поддержание имеющегося парка станков в работоспособном состоянии;
- увеличение количества существующих станков;
- модернизация имеющегося оборудования;
- приобретение нового оборудования.

Потребность в новом ТО возникает в том случае, когда необходимый объем работ не мо-

жет быть выполнен имеющимися в распоряжении предприятия станками. Это находит формальное отражение в заявке заказчика на станок. При этом характеристики модели станка заказчика в значительной степени соответствуют качеству выпускаемой на заводе продукции, а в некоторых случаях являются лимитирующим фактором при разработке и постановке на производство новых изделий. Заявка заказчика формирует модель его станка, отражающую параметры технологической среды, в которой предстоит существовать заказанному оборудованию (рис. 1).

Отправной точкой при проектировании станка выступает деталь, подлежащая обработке на заказываемом оборудовании. Каждая деталь имеет определенное служебное назначение и заранее заданные условия ее работы в некой машине. Это позволяет сформировать такие характеристики детали, как точность размеров, формы, взаимного расположения, а также шероховатость различных поверхностей. Таким образом, заказчик на основе анализа детали определяет характеристики окружающей среды станка, а следовательно, область допустимых значений параметров качества станка, а также связанных с ним параметров инструмента, оснастки и технологического процесса. Кроме того, будущий станок должен сопрягаться с существующей инфраструктурой предприятия и быть экономически целесообразным.

В настоящее время задача повышения технического уровня проектируемого станка остается первоочередной для разработчика, а вопросы, связанные с соответствием этого оборудования

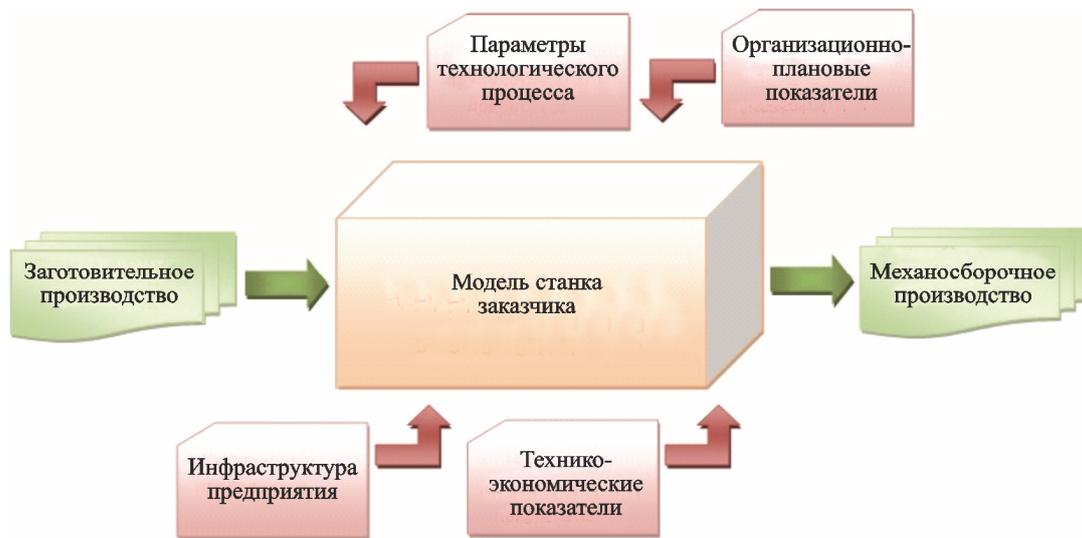


Рис. 1. Исходные данные модели станка заказчика

конкретным производственным условиям, отходят на второй план, т. е. разработчик берет на себя функцию не только конструирования ТО, но и определения его целевого назначения [4]. Задача разработчика, а в определенной степени и изготовителя станка, — реализовать требования заказчика с минимальными изменениями исходных данных и в оговоренные сроки. В общем случае и разработчик, и изготовитель формируют собственные модели станка, отражающие специфику соответствующей деятельности.

По мере возникновения новых знаний о проектируемом станке модель разработчика будет модифицироваться, также может потребоваться коррекция модели станка заказчика, но в любом случае модель разработчика необходимо постоянно проверять на соответствие конкретной технологической среде заказчика. Таким образом, на этапе подготовки исходных данных для создания станка заказчик выступает как непосредственный участник проектно-конструкторского процесса, а итоговый вариант ТО, получаемый в результате согласования тремя сторонами всех сопряженных параметров будущего оборудования, представляет собой отображение трех составляющих модели (рис. 2).

С формальной точки зрения параметры обобщенной модели металлорежущего станка формируются на поле согласующихся аргументов, образованном в результате пересечения множеств предполагаемых значений технологической, конструктивной и экономической составляющих проекта. В качестве конструктивной составляющей могут выступать требуемые значения точности, производительности, надежности, долговечности, массогабаритных параметров и др. Технологическая составляющая определяется в первую очередь гибкостью предполагаемого оборудования и ожидаемой программой его выпуска. Экономическая со-

ставляющая охватывает такие характеристики, как себестоимость станка, сроки его окупаемости и др. При этом задача нахождения оптимального сочетания всех параметров является многовариантной, требующей рассмотрения и сравнительного анализа большого количества возможных реализаций.

Таким образом, отбор допустимых решений, определяющих возможные компоновочные реализации модели станка заказчика, затрагивает различные сферы производственной деятельности, которые обособлены в силу специфики решаемых задач и традиционного разделения информационных потоков внутри предприятия. Очевидно, что одним из шагов, направленных на повышение эффективности процессов создания и выпуска станков, является объединение информации из различных источников на производстве в рамках информационного пространства, в котором осуществлялась бы вся необходимая деятельность по созданию станка. Решением этой задачи является построение информационной системы, способной предоставлять необходимую информацию об изделии всем заинтересованным пользователям (в пределах прав доступа). При этом информация должна быть однозначно понимаемой в терминах рассматриваемой предметной области независимо от ее характера и специфики.

В основе подобной информационной системы находится модель проектируемого изделия, которая представляет в структурированном виде все актуальные данные об изделии. Эта структура постоянно дополняется и модернизируется в процессе ЖЦИ. Этапы ЖЦИ характеризуются соответствующими процессами, возникающими на этапе первоначального выявления потребностей рынка в продукции и заканчивающимися на этапе конечного удовлетворения установленных требований [5].

В качестве методологического базиса системы информационной поддержки ЖЦИ выступила концепция CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка поставок и ЖЦИ) — глобальная стратегия в отношении разработки, управления, изменения и использования деловой и технической информации путем информационной интеграции и оптимизации бизнес-процессов предприятия [6]. CALS можно рассматривать как бизнес-стратегию по организации информационной поддержки изделия на протяжении всего периода его жизнедеятель-



Рис. 2. Составляющие модели станка

ности и основой для разработки стандартов в целях представления, хранения и обмена данными в течение ЖЦИ, предполагая тем самым преемственность в использовании информации. В рамках данной технологии были выделены направления, значительно повышающие эффективность процессов создания изделий, такие как параллельный инжиниринг, реинжиниринг бизнес-процессов, электронный документооборот и др. Применение CALS позволяет управлять процессом проектирования, в том числе на основе использования методов параллельного проектирования, а также перекрестных функциональных связей [7].

В настоящее время большое распространение получила концепция PLM (Product Lifecycle Management — управление ЖЦИ), которая в общем случае не может быть сведена к какому-либо прикладному методу или программному продукту. PLM представляет собой глобальную информационную систему, которая объединяет базовые производственные процессы с бизнес-процессами в рамках производственной компании при создании конечного продукта на основе разнообразной информации о нем [8].

Однако на практике под термином PLM часто понимают комплексные корпоративные информационные системы CAD/CAM/CAE/PDM, которые реализуют в определенной степени теоретические положения, предложенные CALS. В системе CAD (Computer Aided Design — информационная поддержка проектирования) создается 3D-модель детали, которая проходит проверку у расчетчика в среде CAE (Computer Aided Engineering — информационная поддержка инженерного анализа) и затем передается в систему CAM (Computer Aided Manufacturing — информационная поддержка производства).

В реальных условиях проектирования такой процесс является итерационным. Следовательно, по мере развития проекта количество данных, которыми обмениваются участники процесса проектирования, многократно возрастает, что приводит к задержкам, связанным с поиском и согласованием различной информации [9]. Кроме того, возможны трудности технического характера, такие как передача информации между системами CAD/CAM/CAE. Все это способно не только замедлить ход реализации проекта, но и повлиять на качество принимаемых решений. Отсюда возникает необходимость в информационной среде, в которой могли бы согласовываться разнородные данные об

изделии. С практической точки зрения роль такой среды могла бы быть возложена на прикладную программу, индифферентную к специфике каждого конкретного источника информации, способную осуществлять относительно простые сервисные процедуры над данными.

В настоящее время такие программные системы развились в самостоятельный компонент инструментальных средств информационных систем и получили название PDM. Такие системы применяют на всех этапах работы над изделием и позволяют создать на предприятии единую информационную среду его разработки, ресурсами которой могут пользоваться все заинтересованные службы [10]. Основными функциями PDM-систем являются: ведение архива предприятия, номенклатуры изделий, технического и офисного документооборота; управление проектами, составом изделий и бизнес-процессами, а также интеграция и взаимодействие с информационными системами предприятия.

С точки зрения внешнего пользователя PDM-система выступает как программный интерфейс с определенным набором фильтров, с помощью которого предоставляется доступ к информации, связанной с процессами создания изделия, а также набор сервисных процедур для модификации этой информации. В дополнение к базовым функциям PDM-система предоставляет техническую возможность по организации временных рабочих групп на основе научно-обоснованного распределения ответственности участников проектного процесса для каждой конкретной стадии работ над изделием [11].

В отличие от остальных компонентов систем информационной поддержки создания изделий, границы применимости PDM-систем сформированы не полностью. По сложившейся практике сфера их деятельности ограничена управлением электронным архивом и организацией документооборота при проведении конструкторских и технологических работ. Использование систем PDM дает возможность осуществлять работу над проектом в терминах электронной структуры изделия вместо привычных для конструктора чертежей и спецификаций. Различные сервисные функции, в большей или меньшей степени задействованные при создании новых изделий, повышают качество проектных работ. Тем не менее, потенциальные возможности типичной PDM-

системы позволяют решать задачи управления всем объемом данных, которые возникают на разных этапах работы над изделием, а также управлять его структурой.

В настоящее время при проектировании ТО применяют различные PDM-системы, производимые как российскими, так и зарубежными компаниями: T-FLEX DOCs («Топ Системы», Россия), Лоцман («Аскон», Россия), SmarTeam (Dassault Systèmes (Франция) и др. При этом следует отметить, что многие производители PDM-систем стремятся расширить сферы применения продукции, включая в нее функционал, связанный с управлением проектом, процессом разработки изделия и планированием ресурсов.

Несмотря на существенные различия в архитектуре и возможностях PDM-систем разных производителей, для большинства из них управление инженерной информацией основано на концепции развития данных об изделии на базе модели, разработанной конструктором. Однако проектирование ТО, в наибольшей степени удовлетворяющее требованиям заказчика, должно базироваться на рассмотрении моделей станка заказчика, разработчика и изготовителя. В этом случае целесообразно использовать систему PDM, в том числе для создания и модификации обобщенной модели проектируемого ТО на основе параметров составляющих моделей.

Одним из вариантов механизма формирования и управления подобной обобщенной модели может служить приложение «Менеджер структуры» системы Teamcenter компании Siemens PLM (Германия). Данное приложение можно использовать при формировании единой обобщенной структуры ТО, которая может меняться в зависимости от текущих требований [12]. При этом уже на самых ранних стадиях проектного процесса существует возможность количественной и качественной оценки расхождения параметров обобщенной модели проектируемого оборудования и исходных параметров, заданных в модели станка заказчика. По мере развития проекта оценка исходной и существующей структур ТО будет включать в себя все большее количество параметров, в том числе параметры оборудования исполнителя.

Механизм возникновения и развития параметров исходной и разработанной структур ТО можно проследить на примере проектирования металлорежущего станка. Информационным

входом для проектирования станка является предварительный эскиз его модели, который, в зависимости от полноты информации о требуемом оборудовании может быть представлен в виде:

- общего описания потребности в новом техническом средстве;
- результатов научно-исследовательской работы;
- имеющегося станка, подлежащего копированию или модернизации.

Завершением процесса проектирования является концепция станка, предлагаемого к реализации. Проект может либо описывать основные характеристики будущей машины, либо обосновывать возможность использования для поставленной задачи уже готового решения.

Формализованным представлением этой потребности является заявка заказчика — документ, в большей или меньшей степени отвечающий на вопросы: зачем нужен новый станок и в каких условиях он будет работать. Формально считается, что если разработчик и заказчик пришли к согласию по всем пунктам заявки, то разработчик может приступить к формированию исходных данных для проектирования — подготовке технического задания (ТЗ). Таким образом, разработка заявки заказчика представляет собой один из важнейших этапов процесса создания станка и отражает параметры модели заказчика.

На всех дальнейших стадиях (технический, эскизный и рабочий проекты) выполняют работы по развитию выбранной схемы станка со все возрастающей степенью детализации и более полной графической и текстовой документацией. В общем случае можно считать, что необходимость каждой стадии (последующей или предыдущей) определяется представлением разработчика о проектируемом объекте [13].

Таким образом, наиболее ответственным этапом в проектировании станка является формирование характеристик будущего станка — исходных данных для проектирования. В терминах ЖЦИ данные работы соответствуют этапу планирования изделия [14]. Этот этап работ предполагает тесное взаимодействие заказчика и разработчика, т. е. в определенном смысле заказчик выступает как полноценный участник проектно-конструкторского процесса. Информационная система должна определять различные уровни доступа к данным различных участков процесса проектиро-

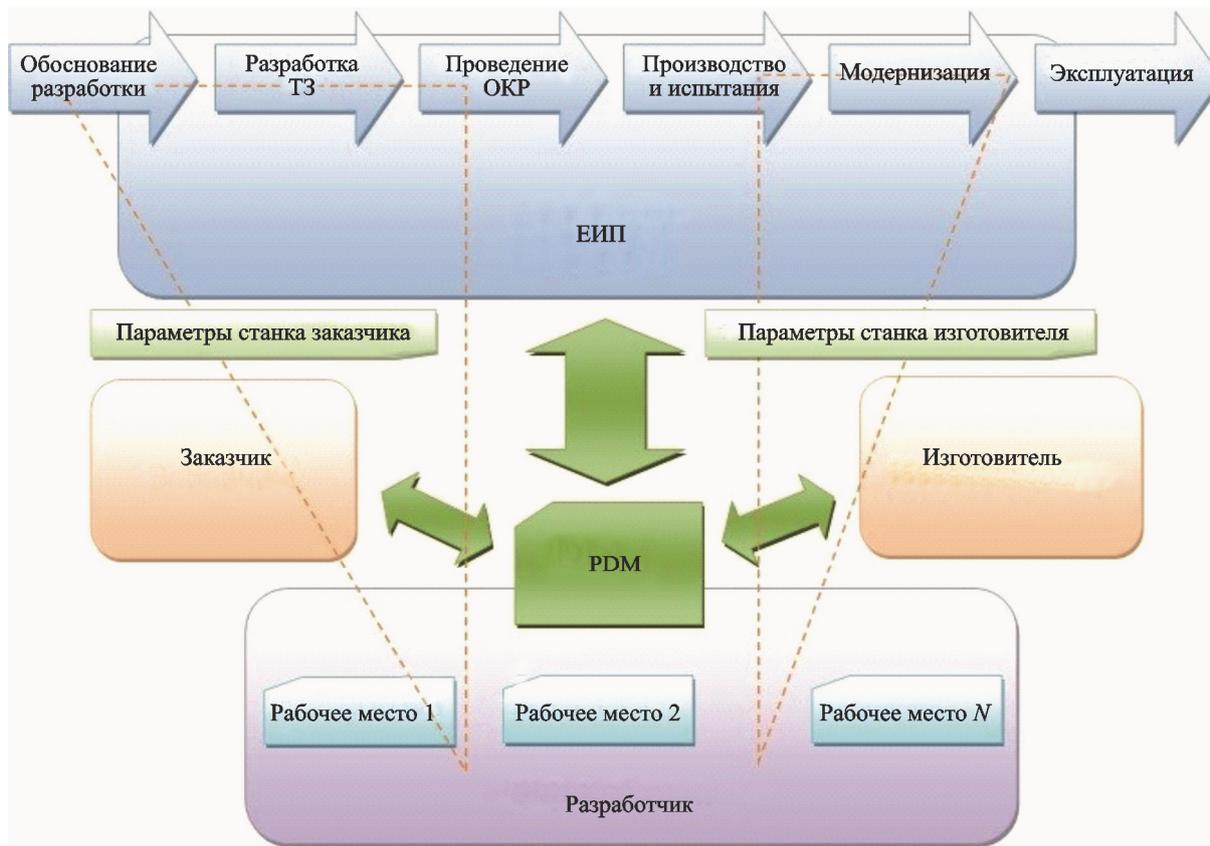


Рис. 3. Организация доступа к проектной информации в EIP

вания в соответствии с их представлениями о модели будущего станка.

При проработке исходных данных для проектирования в число непосредственных участников процесса создания станка входит предполагаемый изготовитель. На этапе назначения основных рабочих параметров станка необходимо определить возможности и сроки изготовления станка на производстве. В результате круг участников проектно-конструкторского процесса значительно расширяется. Для оперативного решения вопросов, возникающих в процессе создания станка, всем сторонам необходим доступ к проектной информации. Однако многие аспекты конструкторской деятельности не должны выходить за пределы конструкторского бюро. Таким образом, PDM-система должна не только обеспечивать всех участников проектно-конструкторского процесса актуальной информацией, но и определенным образом разграничивать доступ к ней (рис. 3).

Границы доступа к проектной информации для каждого участника проектно-конструкторского процесса в полной мере определяются параметрами соответствующих моделей станка

заказчика, разработчика и изготовителя. В зависимости от специфики проектируемого объекта, условий технологической среды заказчика и особых требований к проектируемому станку параметры каждой из моделей могут иметь разный приоритет. Например, проекты сложных технологических систем, интегрированных в конкретное производство, прорабатывают технологические службы предприятия заказчика. При этом осуществляется выбор и обоснование параметров сопряженного оборудования, определение характера их взаимодействия, решение задачи размещения оборудования и т. д. В этом случае конструкторы должны разработать станок, в наибольшей степени соответствующий поставленной технологической задаче.

Если перед заказчиком стоит задача освоения нового производства и на предприятии отсутствует необходимое оборудование (например, в силу его новизны), то вначале следует определить базовые принципы функционирования ТО с исследованием возможности выполнения требований заказчика по совокупности характеристик. В этом случае исходные

данные для проектирования формируют преимущественно конструкторы при условии, что ключевые параметры проектируемого станка отвечают требованиям заказчика.

Выводы

1. Назначение ключевых параметров перспективного ТО на начальных этапах проектирования представляет собой комплексную задачу, решение которой должно базироваться как на анализе среды функционирования станка, так и на синтезе области допустимых значений параметров конструкции.

2. При формировании параметров перспективной технологической машины заказчик оборудования выступает как непосредственный участник проектно-конструкторского процесса.

3. Допустимые проектные решения затрагивают различные сферы производственной деятельности, поэтому для повышения эффективности проектно-конструкторского и производственного процессов необходимо объединить данные различных источников в рамках единого информационного пространства, в котором осуществлялась бы вся необходимая деятельность по созданию ТО.

4. PDM-система предоставляет техническую возможность по формированию обобщенной структуры проектируемого ТО на основе параметров моделей заказчика, разработчика и изготовителя.

5. Система PDM выступает как методологическая основа для оптимизации парка ТО предприятия.

Литература

- [1] Ming X.G., Yan J.Q., Lu F.W., Mal D.Z. Technology Solutions for Collaborative Product Lifecycle Management — Status Review and Future Trend. *Concurrent Engineering Research and Applications*, 2005, vol. 13, is. 4, pp. 311–319.
- [2] Корниенко А.А. Моделирование рынка металлорежущих станков. *Вестник машиностроения*, 2005, № 3, с. 81–85.
- [3] Silva R.J., Van Houten F.J.A.M. Integrated design decision support and logistics strategy. *The CIRP Journal of Manufacturing System*, 2006, vol. 35, is. 1, pp. 23–30.
- [4] Базров Б.М. *Модульная технология в машиностроении*. Москва, Машиностроение, 2001. 368 с.
- [5] John Stark. *Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation*. Springer Science & Business Media, 2011. 562 p.
- [6] Lefebvre L.A., Lefebvre E., Mohnen P. *Doing Business in the Knowledge-Based Economy: Facts and Policy Challenges*. Springer Science & Business Media, 2012. 494 p.
- [7] Ковалев С.В. Сравнительный анализ применения CALS-технологий управления предприятиями в России и за рубежом. *Вестник ЮРГТУ (НПИ). Сер. Социально-экономические науки*, 2011, № 3, с. 6–16.
- [8] Saaksvuori A., Immonen A. *Product Lifecycle Management*. Springer Science & Business Media, 2005. 247 p.
- [9] Васильев Г.Н., Рыбаков А.В., Тимофеев П.Г. Использование САПР при разработке компоновки агрегатного станка на этапе технического предложения. *СТИН*, 2003, № 9, с. 18–21.
- [10] Малюх В.Н. *Введение в современные САПР*. ДМК-Пресс, 2010. 190 с.
- [11] Yan X., Ion W., Eynard B. *Global Design to Gain a Competitive Edge*. London, Springer, 2008. 888 p.
- [12] Samuel S.M., Weeks E.D., Kelley M.A. *Team center Engineering and Product Lifecycle Management Basics*. Design Visionaries Inc., 2006. 152 p.
- [13] Чернянский П.М., ред. *Проектирование автоматизированных станков и комплексов*. В 2 т. Т. 2. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 301 с.
- [14] Краюшкин В.А., Лешихина И.Е., Пирогова М.А. Система PLM — корпоративная информационная среда предприятия по автоматизации совокупности процессов проектирования, изготовления, сопровождения и утилизации изделия. *Информационные технологии в проектировании и производстве*, 2010, № 1, с. 3–23.

References

- [1] Ming X.G., Yan J.Q., Lu F.W., Mal D. Z. Technology Solutions for Collaborative Product Lifecycle Management — Status Review and Future Trend. *Concurrent Engineering Research and Applications*, 2005, vol. 13, is. 4, pp. 311–319.
- [2] Kornienko A.A. Modelirovanie rynka metallorezhushchikh stankov [Modeling of the metal-cutting machine-tools market]. *Vestnik mashinostroeniia* [Russian Engineering Research]. 2005, no. 3, pp. 81–85.
- [3] Silva R.J., Van Houten F.J.A.M. Integrated design decision support and logistics strategy. *The CIRP Journal of Manufacturing System*, 2006, vol. 35, is. 1, pp. 23–30.
- [4] Bazrov B.M. *Modul'naia tekhnologiia v mashinostroenii* [Modular technology in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2001. 368 p.
- [5] Stark J. *Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation*. Springer Science & Business Media, 2011. 562 p.
- [6] Lefebvre L.A., Lefebvre E., Mohnen P. *Doing Business in the Knowledge-Based Economy: Facts and Policy Challenges*. Springer Science & Business Media, 2012. 494 p.
- [7] Kovalev S.V. Sravnitel'nyi analiz primeneniia CALS-tekhnologii upravleniia predpriiatiami v Rossii i za rubezhom [Comparative analysis of the use of business management of CALS-technologies in Russia and abroad]. *Vestnik IuRGTU(NPI). Serii: Sotsial'no-ekonomicheskie nauki* [Herald of the Platov South-Russian State Polytechnic University. Series: Socio-economic sciences]. 2011, no. 3, pp. 6–16.
- [8] Saaksvuori A., Immonen A. *Product Lifecycle Management*. Springer Science & Business Media, 2005. 247 p.
- [9] Vasil'ev G.N., Rybakov A.V., Timofeev P.G. Ispol'zovanie SAPR pri razrabotke komponovki agregatnogo stanka na etape tekhnicheskogo predlozheniia [The use of CAD in the design layout of the aggregate of the machine at the stage of technical proposals]. *STIN* [Russian Engineering Research]. 2003, no. 9, pp. 18–21.
- [10] Maliukh V.N. *Vvedenie v sovremennye SAPR* [Introduction to modern CAD]. Moscow, DMK-Press, 2010. 190 p.
- [11] Yan X., Ion W., Eynard B. *Global Design to Gain a Competitive Edge*. London, Springer, 2008. 888 p.
- [12] Samuel S.M., Weeks E.D., Kelley M.A. *Team center Engineering and Product Lifecycle Management Basics*. Design Visionaries Inc., 2006. 152 p.
- [13] *Proektirovanie avtomatizirovannykh stankov i kompleksov. V 2 t. T. 2.* [Design of automated machines and systems]. Ed. Chernianskii P.M. Vol. 2. Moscow, Bauman Press, 2012. 301 p.
- [14] Kraiushkin V. A., Leshikhina I. E., Pirogova M. A. Sistema PLM — korporativnaia informatsionnaia sreda predpriiatia po avtomatizatsii sovokupnosti protsessov proektirovaniia, izgotovleniia, soprovozhdeniia i utilizatsii izdeliia [PLM system — corporate information environment of the enterprise to automate design processes together, manufacturing, maintenance and disposal of the product]. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve* [Information technology in the design and manufacture]. 2010, no. 1, pp. 3–23.

Статья поступила в редакцию 25.05.2016

Информация об авторах

ТИМОФЕЕВ Павел Геннадьевич (Москва) — ассистент кафедры «Металлорежущие станки». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: timgtu@mail.ru).

ЯГОПОЛЬСКИЙ Александр Геннадиевич (Москва) — старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Information about the authors

TIMOFEEV Pavel Gennadievich (Moscow) — Teaching Assistant, Department of Metal Cutting Machines. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: timgtu@mail.ru).

YAGOPOLSKIY Aleksandr Gennadievich (Moscow) — Senior Lecturer, Department of Metal Cutting Machines. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1).