

И.В.АРТЕМОВ, Е.Н.БАРЧАН, Г.П. ГЛИНИН, М.М.ПЕКЛИЧ,
“Головной специализированный конструкторско-технологический институт”, г. Мариуполь, **В.И.РОМЕНСКИЙ**, канд. техн. наук, Харьковский НИИ технологии машиностроения, **Н.А. ТКАЧУК**, докт. техн. наук, НТУ “ХПИ”

К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА И УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

На прикладі елементів технологічного оснащення описано загальний підхід до побудови інтегрованих систем автоматизованого проектування елементів складних механічних систем. Описано модульну структуру інтегрованих систем. Наведені підходи до формування критеріїв, що використовуються в системах автоматизованого проектування як цільові функції та обмеження в процесі параметричної оптимізації.

On the example of elements of technological equipment general approach is described to the construction of integrated CAD-systems for elements of complicated mechanical systems. The modular structure of integrated systems is described. Approaches are given to forming of criteria which are used in CAD-systems as criterion functions and constraints in parametrical optimization process.

Состояние вопроса. При рассмотрении проблемы автоматизации процесса проектирования, исследования и изготовления сложных машиностроительных конструкций плодотворно использовать системный подход [1, 2]. Изменяющиеся во времени потребности рынка конкретизируются в требуемых технических характеристиках (ТХ) изделия (рис.1). Сами изделия на протяжении всего цикла жизни описываются целым рядом параметров (конструктивных, технологических, эксплуатационных). При этом сама исследуемая конструкция, представляющая собой сложную разнокомпонентную систему, в процессе создания требует проведения целого ряда исследований для обоснованного выбора основных конструктивных параметров. Аналогичные исследования проводятся и при проектировании и исследовании элементов технологической оснастки (ЭТО) для производства деталей на предприятии, а также при разработке технологических процессов (рис. 2). Речь в данном случае идет о повышении точности изготовления деталей, обеспечении высоких технических характеристик производимых изделия, снижении себестоимости их изготовления.

Таким образом, процесс создания новых изделий представляет собой (см. рис. 2) единый цикл взаимосвязанных этапов. При этом на всех этапах производится интенсивный обмен информацией. Важной особенностью этой информации является ее двунаправленность и итерационный многошаговый характер уточнения на основе решения глобальных и локальных задач

анализа, синтеза, оптимизации и компромиссов.

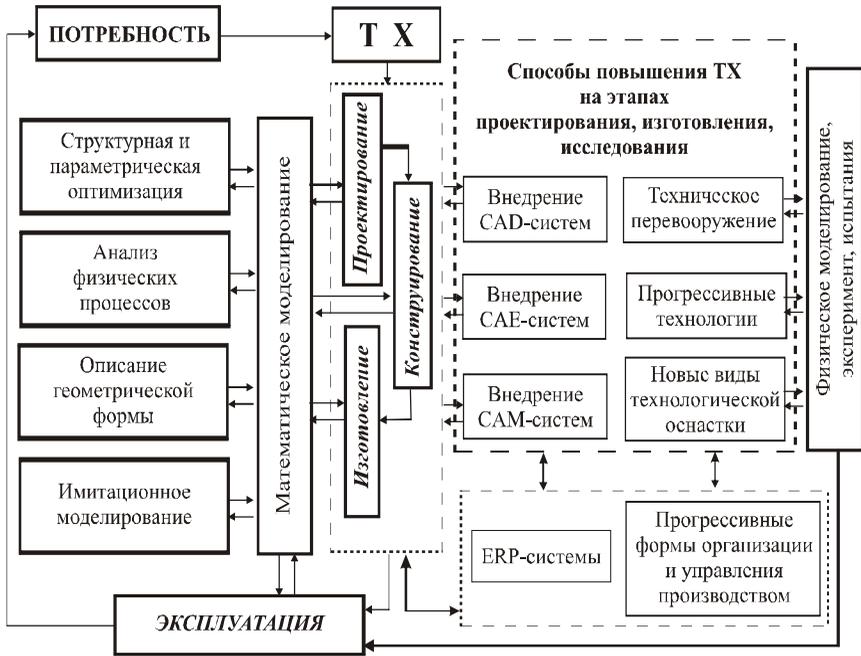


Рис. 1. Структура цикла жизни элементов машиностроительных конструкций

Например, изменение конструкции того или иного узла или детали проектируемого изделия на любом из этапов проектирования влечет необходимость изменения соответствующего элемента технологической оснастки, технологических условий или технологических режимов обработки. И наоборот, любые технологические ограничения на любом из этапов технологической подготовки производства предполагают изменение конструкторской документации на детали проектируемого основного изделия. Для оперативного обеспечения такого типа связей в системах автоматизированного проектирования высокого уровня используются принципы *параметричности* и *ассоциативности*.

В современных условиях процессы проектирования, конструирования, изготовления и исследования элементов машиностроительных конструкций представляются совокупностью CAD/CAM/CAE/PDM – систем, интегрированных в той или иной степени в составе единой системы (рис. 3). Для современных компьютерных систем характерно соединение во все возрастающей степени функций CAD, CAE, CAM, PDM – систем в интегрированных CAD/CAE/CAM/PDM – системах с единой базой данных (см. рис. 3).



Рис. 2. Этапы создания новых изделий и элементов технологической оснастки для их изготовления на машиностроительном предприятии в единой информационной среде

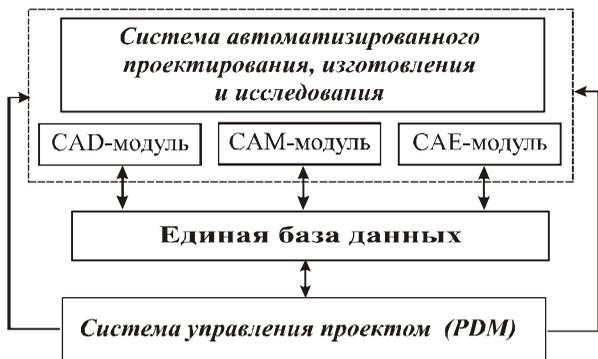


Рис. 3. Схема обмена информацией в единой интегрированной CAD/CAM/CAE/PDM-системе

При этом тенденция эта является ведущей (примеры: ProENGINEER, UniGraphics, CATIA, SolidWorks). Данное соединение приносит очевидные преимущества:

- беспроблемный обмен данными;
- оперативность;
- сквозная параметричность;

- ассоциативность;
- возможность создания внутренних оптимизационных процедур, включая математическое моделирование физических процессов;
 - расширение базы параметров (наряду с геометрической частью появляется часть, содержащая негеометрическую: температуру, нагрузки, напряжения, технологические параметры и т.д.);
 - возможность комплексного решения проблемы создания сквозной автоматизированной системы в цепи “проектирование – конструирование – исследование – изготовление – управление проектом – управление документооборотом”;
 - возможность создания (с учетом блочно-модульной структуры и наличия средств интеграции) системы автоматизированного проектирования, исследования, изготовления (САПИИ) с учетом специфических потребностей того или иного предприятия (т.е. “закрытие” потребностей предприятия с поставкой САПИИ “под ключ”).

Однако основным недостатком универсальных систем автоматизированного проектирования высокого уровня является *неучет специфики* конструкций того или иного типа, свойств конструкционных материалов для изготовления тех или иных изделий, технологического оснащения предприятий той или иной отрасли отечественного машиностроения, а также отсутствие в этих системах средств описания *трудноформализуемой специальной информации*. Это относится в первую очередь к этапу технологической подготовки производства (см. рис. 2), который в силу исторически сложившихся причин является наименее автоматизированным этапом в процессе создания новых изделий. В связи с этим рассмотрим проблему на примере проектирования технологической оснастки.

В данном случае отвлечение от экономической и организационной сторон приводит к задаче обеспечения точности в процессе изготовления деталей за счет обеспечения определенных свойств элементов технологических систем, в первую очередь – технологической оснастки.

В связи с этим возникают следующие задачи:

1. Формирование критериев для автоматизированного проектирования элементов технологической оснастки для изготовления деталей современных изделий на предприятиях отечественного машиностроения.
2. Разработка технологий автоматизированного проектирования, исследования и изготовления элементов технологической оснастки, которые позволяют использовать широкие возможности и инструментарий современных систем автоматизированного проектирования высокого уровня и в то же время избавленных от их основных недостатков.
3. Разработка технологии описания трудноформализуемых данных, встраиваемую в существующую на предприятиях технологию проектирования.
4. Создание единой технологии и системы автоматизированного анализа

и синтеза ЭТО для изготовления того или иного класса изделий.

Некоторые направления разработки технологии автоматизированного проектирования элементов сложных механических систем, в том числе технологической оснастки, описаны в работах [3-12]. В статье предложено их дальнейшее развитие на основе системного подхода.

1. Общие требования к жесткостным и прочностным характеристикам элементов технологической оснастки

Критерии и подходы. Технологические системы представляют собой совокупность различных видов оборудования, инструмента, оснастки и обрабатываемых (изготавливаемых) деталей и узлов. Основная цель функционирования технологической системы (ТС) – производство изделий определенных типов с заданными свойствами, с заданной точностью и с определенными затратами.

Задача выбора (или построения) технологической системы (ТС) для выпуска вновь спроектированных изделий предполагает анализ характеристик всех звеньев ТС (в первую очередь параметров точности, жесткости, прочности и надежности). При этом наиболее мобильной частью технологических систем является технологическая оснастка, поскольку:

- **оборудование** обладает во многих случаях нормированными характеристиками прочностных, жесткостных и точностных характеристик;
- имеет высокую стоимость, и поэтому замена оборудования на более совершенное (с улучшенными характеристиками) не всегда целесообразно;
- **инструмент** имеет геометрическую форму, размеры и характеристики материала, задаваемые конструкцией изготавливаемой детали и технологическими требованиями процесса изготовления, следовательно, здесь также ограничен простор для варьирования характеристик;
- **заготовка** имеет заранее предписанные проектировщиком конструктивные параметры, форму, размер, качество обработки поверхности и т.д., в связи с чем возможности варьирования каких бы то ни было характеристик практически отсутствуют.

Таким образом, естественным образом возникает задача исследования прочности и жесткости элементов технологической оснастки, являющихся составными частями технологических систем. Это обусловлено требованиями обеспечения точности и производительности обработки поверхностей деталей, работоспособности и долговечности всей технологической системы в целом и оснастки в частности, безопасности ее эксплуатации и снижения металлоемкости. Эти во многом противоречивые требования создают в процессе проектирования новых видов технологической оснастки некоторую область ограничений в пространстве конструктивных и технологических параметров. Определение рационального набора последних требует в большинстве случаев проведения большого количества исследований.

При формулировке критериев выбора параметров оснастки можно

выделить 2 подхода, условно названных здесь *А-подход* (“абсолютный” – ориентирован на абсолютные значения параметров) и *О-подход* (“относительный” – ориентирован на анализ соотношений значений параметров). Последний подход отражает то обстоятельство, что проектируемая оснастка (приспособление, штамп, пресс-форма и т.д.) является звеном технологической системы (станок – приспособление – инструмент – деталь, пресс – штамп – инструмент – заготовка, литейная машина – пресс-форма – полуматрицы – рабочий материал и т.п.).

В силу этого характеристики оснастки должны соответствовать характеристикам остальных элементов технологической системы. Например, жесткость станочного приспособления, на котором размещается обрабатываемая деталь, не должна быть намного меньше жесткости станков, для оснащения которых оно проектируется, поскольку при этом может ухудшаться точность обработки поверхностей деталей. В то же время существенное превышение характеристик жесткости приспособления над аналогичными характеристиками станка, например, за счет увеличения геометрических размеров, приводит к уменьшению операционного пространства на столе станка (и, значит, сужает технологические возможности данного приспособления), а также к неоправданному росту металлоемкости и стоимости оснастки. “Абсолютный” подход отражает то обстоятельство, что проектируемая оснастка находится под действием определенной системы эксплуатационных нагрузок и должна соответствовать также требованиям, предъявляемым непосредственно к ней. Например, раскрытия стыка в сопряжении полуматриц проектируемой пресс-формы не должно происходить в процессе литья детали или раскрытия не должно превышать предельной величины (определяется типом материала изготавливаемой детали, давлением впрыска материала, его температурой). И одновременно с этим напряжения в полуматрицах, вызванные действием усилий смыкания и давлением рабочего материала, не должны превышать допустимых (для данного материала полуматриц, для данных условий работы).

Проектируемый элемент оснастки должен удовлетворять системе требований, вытекающих как из “абсолютного”, так и из “относительного” подхода. Например, “абсолютный” подход может быть положен в основу определения конструктивных схем и геометрических параметров оснастки, а “относительный” подход – для выбора технологических параметров (режимов резания, давления впрыска, толщины штампуемого материала и т.п.), при которых рекомендуется использование данного приспособления или серии приспособлений.

2. К вопросу классификации элементов технологической оснастки. Средства технологического оснащения, как отмечалось ранее, – составной элемент технологических систем “Станок – приспособление – инструмент – деталь” (СПИД), а также других типов ТС. Технологические системы представляют собой замкнутые цепочки взаимосвязанных,

взаимодействующих и взаимовлияющих элементов: оборудование – оснастка – инструмент – деталь (ООИД) (рис. 4).



Рис. 4. Структура и схема взаимодействия элементов ТС

Основным элементом, замыкающим силовые, кинематические и размерные связи в системе ООИД, является оборудование. Параметры станка, штампа, технологической камеры или литейной машины определяют технико-технологический уровень параметров изготавливаемых деталей и технологических процессов. Остальные звенья системы или сужают, или расширяют возможности оборудования. Первое недопустимо, а для достижения второго необходимо гармонизировать конструктивные, технологические, точностные, а также прочностные и жесткостные параметры оборудования, оснастки, инструмента и заготовки.

Элементы технологических систем (ЭТС) (штампы, пресс-формы, технологические камеры, станочные приспособления) представляют собой сложные конструкции, в состав которых входят тела вращения, пластины, стержневые конструкции, массивные тела, перфорированные плиты и т.д. Соответственно классификация ЭТС разнообразна (отдельные группы элементов технологической оснастки и инструмента в качестве примера приведены в табл. 1 и на рис. 4–11).

Таблица 1

Пример классификации и некоторых элементов технологических систем

по функциональному признаку

Класс объекта	Элементы	Примеры
<i>Станочные приспособления</i>	Массивные тела, тела вращения, плиты	Корпусные детали, гидроцилиндры базовые плиты
<i>Штампы</i>	Тела вращения, плиты, призмы, стержни	Матрицы, пуансоны, верхние и нижние плиты, колонки
<i>Пресс-формы</i>	Массивные тела, плиты, стержни	Полуматрицы, опоры
<i>Технологические камеры</i>	Пластины, стержни	Многослойные стенки, подкрепления



Рис. 5. К классификации средств технологического оснащения: общая структура и состав оснастки и инструмента

3. Формализация требований к элементам технологической оснастки. Как показывает анализ приведенных выше классификационных схем оснастки и инструмента, характерными особенностями технологической оснастки на отечественных машиностроительных предприятиях являются:

- многообразии геометрических форм ЭТО;
- многообразии схем нагружения;
- многообразии типов приложения нагрузки (термическое нагружение, статические и динамические усилия);
- разнообразии типов крепления и контактного сопряжения.



Рис. 6. К классификации режущего инструмента по технологическим операциям

Станочные приспособления		
<i>Серийное и крупносерийное производство</i>	<i>Серийное и мелкосерийное производство</i>	
Специальные	Специальные	Специализированные переналаживаемые патроны СПП-1Т, СПП-2Т
Универсальные средства механизации УСМ-8, УСМ-12, УСМ-16	Агрегатные средства механизации САМ-32 ÷ САМ-80	Универсально-наладочные приспособления УНП-6, УНП-10, УСП-14, УНП-18, УНП-22
Механизированные крепежные комплексы МКК-14, МКК-18	Агрегатные средства автоматизации АСА-РК	Унифицированное приспособление УП-10, УП-14, УП-18, УП-22
Универсально-сборные приспособления УСП-8, УСП-12, УСП-16	Специализированные наладочные приспособления СНП-6, СНП-10, СНП-14, СНП-18, СНП-22	Универсально-сборная переналаживаемая оснастка УСПО-200, УСПО-320, УСПО-500, УСПО-630, УСПО-800
Переналаживаемые круглые пакладные кондукторы ПКНК-8, ПКНК-12	Комплекты механизированных приспособлений КМП-1-8 ÷ КМП-5-8, КМП-1-12 ÷ КМП-7-12	

Рис. 7. К классификации станочных приспособлений

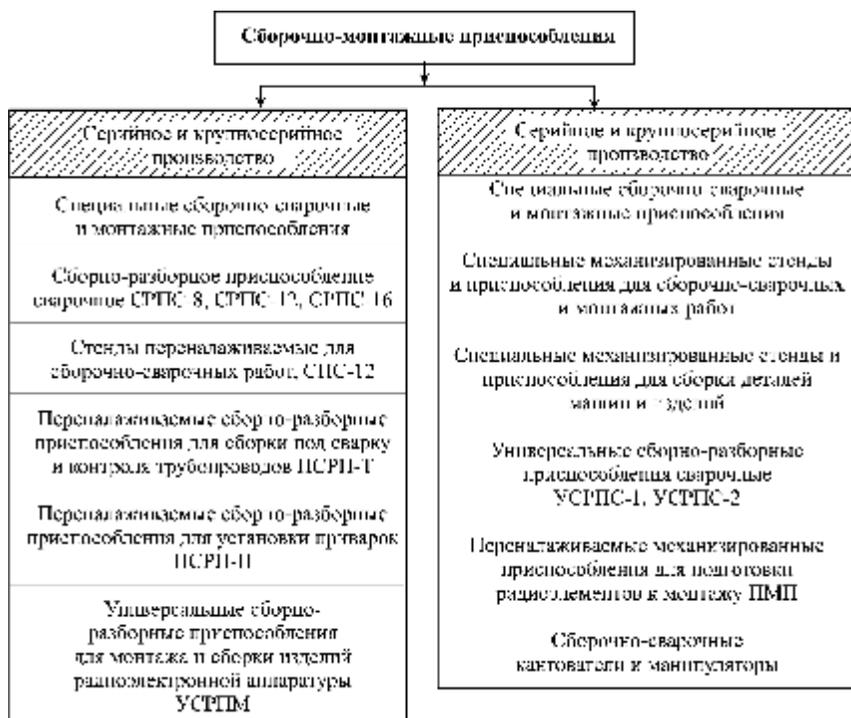


Рис. 8. К классификации сборочно-монтажных приспособлений



Рис. 9. К классификации оснастки для горячей штамповки

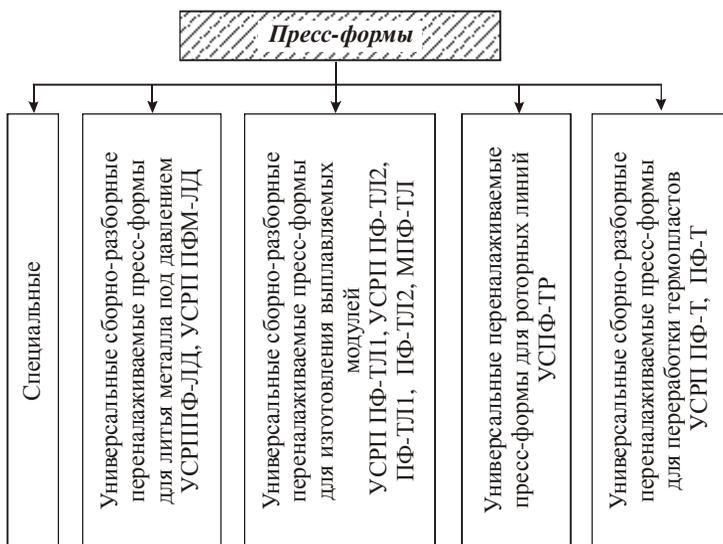


Рис. 10. К классификации пресс-форм

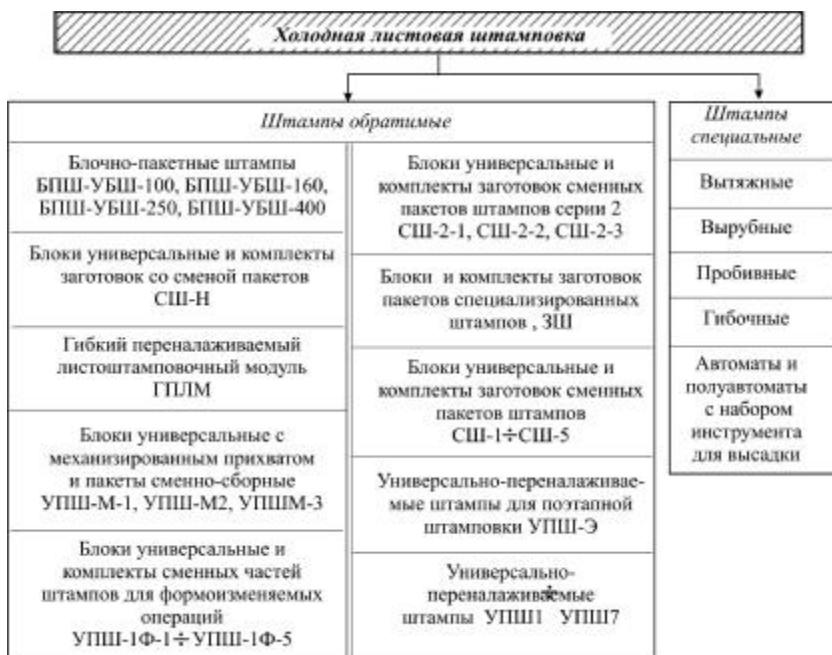


Рис. 11. К классификации оснастки для холодной листовой штамповки

Исследуемая технологическая оснастка играет двоякую роль: обеспечение базирования обрабатываемой детали; обеспечение закрепления детали, которое в свою очередь обеспечивается приложением усилий закрепления (*закрепления, фиксации, прижима*), а также мероприятиями, обеспечивающими минимальные деформации и смещения заготовки и приспособления при обработке, которая сопровождается приложением *технологических усилий* (*резания, штамповки, гибки, вытяжки, давления литья*).

Неточность изготовления деталей машиностроительных изделий, таким образом, разделяются по природе возникновения на 2 типа: *от погрешностей базирования* и *от упругой деформации элементов технологических систем*, которые, в свою очередь, вызываются статической и динамической составляющими. При этом возможно вычленение элементов, определяющих жесткостные характеристики технологической оснастки и оказывающих основное влияние на точностные характеристики обрабатываемых деталей:

- корпусные детали станочных приспособлений (СП);
- базовые плиты СП;
- базовые плиты комплекта УСП;
- сборки УСП;
- блоки и пакеты штампов для холоднолистовой штамповки;
- блоки и пакеты пресс-форм;
- литьевые формы;
- сварочные плиты;
- сборочные шаблоны и т.д.

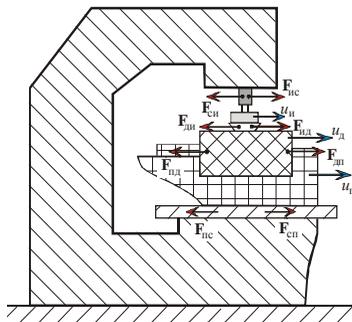


Рис. 12. К вопросу анализа силовых потоков и баланса перемещений в технологической системе:

u – перемещения; F – усилия взаимодействия элементов ТС (индексы “с”, “и”, “д” и “п” – станок, инструмент, деталь, приспособление соответственно)

С проблемой точности обработки и баланса перемещений в технологической системе тесно связан вопрос анализа в ней силовых потоков (рис. 12). В технологической системе в результате силового взаимодействия происходит деформация всех элементов. Перемещения точек элементов технологической системы, в частности обрабатываемых деталей, являются суммой перемещений, вызываемых деформацией остальных компонент ТС. Другими словами, податливости ЭТС складываются. В этом проявляется

связь точности деталей с жесткостью (податливостью) станка, инструмента, самой детали и оснастки. Для количественной оценки баланса перемещений в технологической системе необходимо решить задачу определения ее напряженно-деформированного состояния как сложной механической системы под действием комплекса воздействий.

Анализ конструкций, условий эксплуатации и нагружения элементов перенастраиваемой технологической оснастки и задач исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологических систем в отечественном машиностроении позволяют сформировать и классифицировать задачи, возникающие при проектировании элементов технологической оснастки для предприятий Украины. В частности, основными задачами, которые возникают в процессе исследования, являются

- обеспечение жесткости оснастки (оказывает непосредственное влияние на точность обработки деталей);
- прочность наиболее нагруженных деталей ЭТО (обеспечивает работоспособность технологической системы);
- безопасность при интенсивных режимах обработки деталей из конструкционных материалов);
- минимальная материалоемкость оснастки (снижаются затраты на технологическую подготовку производства).

Формально требования к элементам технологической оснастки можно представить в общем виде:

$$u \leq \bar{u}; \sigma \leq \bar{\sigma}; M \rightarrow \min,$$

где u , σ , M – характеристики, описывающие жесткость, прочность и массу элементов технологической оснастки, а параметры с чертой – ограничения на соответствующие характеристики.

При этом можно выделить следующие особенности постановки задач исследований для элементов технологических систем:

1) элементы технологической оснастки представляют собой сложные механические системы взаимодействующих элементов самой разнообразной формы, находящиеся под действием разнообразных воздействий;

2) Возможность выделения отдельных классов топологически эквивалентных структур (различные типоразмеры приспособлений);

3) Возможность во многих случаях вычлнить доминирующее воздействие, доминирующий (базовый, определяющий прочность и жесткость, точность базирования и деформацию при выполнении технологических операций) элемент конструкции, доминирующий параметр (или незначительное их множество);

4) Возможность распространения основных закономерностей на другие типы механических систем (в т.ч. элементы конструкции проектируемых и изготавливаемых изделий).

4. Общий подход к проектированию на основе специализированных

интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза элементов технологической оснастки. Как показывает анализ, при создании систем автоматизированного проектирования, исследования и изготовления ЭТО, которые позволяют использовать широкие возможности и инструментарий современных систем автоматизированного проектирования высокого уровня и избавленных от их основных недостатков, необходимо удовлетворение следующим требованиям:

- оперативность;
- учет специфики конструкции проектируемых и изготавливаемых изделий и элементов технологической оснастки для их изготовления;
- учет специфики технологического оборудования отечественных предприятий;
- низкая стоимость;
- параметричность;
- наличие специальных модулей;
- функциональный интерфейс;
- двусторонняя взаимосвязь и возможность оказывать влияние проектанта на процесс проектирования в любой момент;
- выход на внешний способ верификации используемых при исследованиях расчетных моделей.

С другой стороны, анализ структуры современных интегрированных систем автоматизированного проектирования, изготовления и исследования (САПИИ) показывает, что они организованы на основе модульного принципа построения (рис. 13). На рис. 14 приведена схема структуры данных в системе автоматизированного проектирования, исследования, изготовления. Анализ схем на рис. 13, 14 показывает, что в данных системах присутствует несколько ключевых элементов, определяющих как возможности той или иной системы в целом, так и эффективность обработки и обмена информацией с другими системами. При этом *центральным звеном* большинства систем является *математическое ядро*, определяющее технологию работы с основной первичной геометрической информацией. *Основная форма* хранения информации задается используемым *форматом хранения данных* в единой БД. Соответственно при генерации расчетных моделей используются те или иные *генераторы сеточных разбиений и форматы хранения конечно-элементных моделей*.

Для обеспечения автоматизированного компьютерного моделирования элементов технологической оснастки как составного элемента автоматизированного проектирования, исследования и технологической подготовки производства возможны несколько путей [13]: полномасштабная разработка *оригинальной* специализированной системы на основе собственного математического, алгоритмического и программного обеспечения; разработка специальных модулей в составе универсальной системы, реализующих специфическую законченную часть проектного

процесса; создание автономных специализированных модулей, ориентированных на проектирование того или иного класса конструкций, причем в основном на базе многолетней практики конструирования аналогичных изделий; создание специализированных модулей анализа и синтеза элементов технологической оснастки, которые могут работать как автономно, так и в режиме интегрирования, причем как со специализированными, так и с универсальными системами (рис. 15).

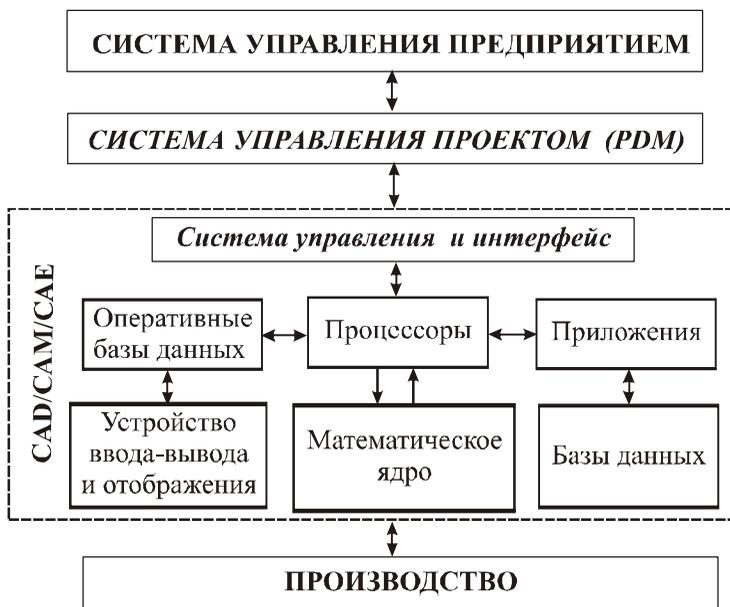


Рис. 13. Схема взаимодействия элементов САПИИ

Последний вариант обладает несомненными преимуществами, поскольку в отличие от первого варианта не требует больших затрат материальных, интеллектуальных и временных ресурсов на его создание. Кроме того, в отличие от второго и третьего вариантов, в которых системы “привязаны” к определенному классу объектов, обладает возможностью “перенастройки” на тот или иной класс объектов при сохранении таких качеств, как функциональная универсальность создаваемой САПИИИ в принципе; оперативность; нетребовательность к квалификации пользователей. При этом в отличие от третьего рассматриваемого варианта появляется возможность использования мощности современных универсальных систем (именно в том случае, если она необходима), оперативности и невысокой затратности автономных модулей или гибкости и перенастраиваемости специализированных систем в компромиссном варианте.

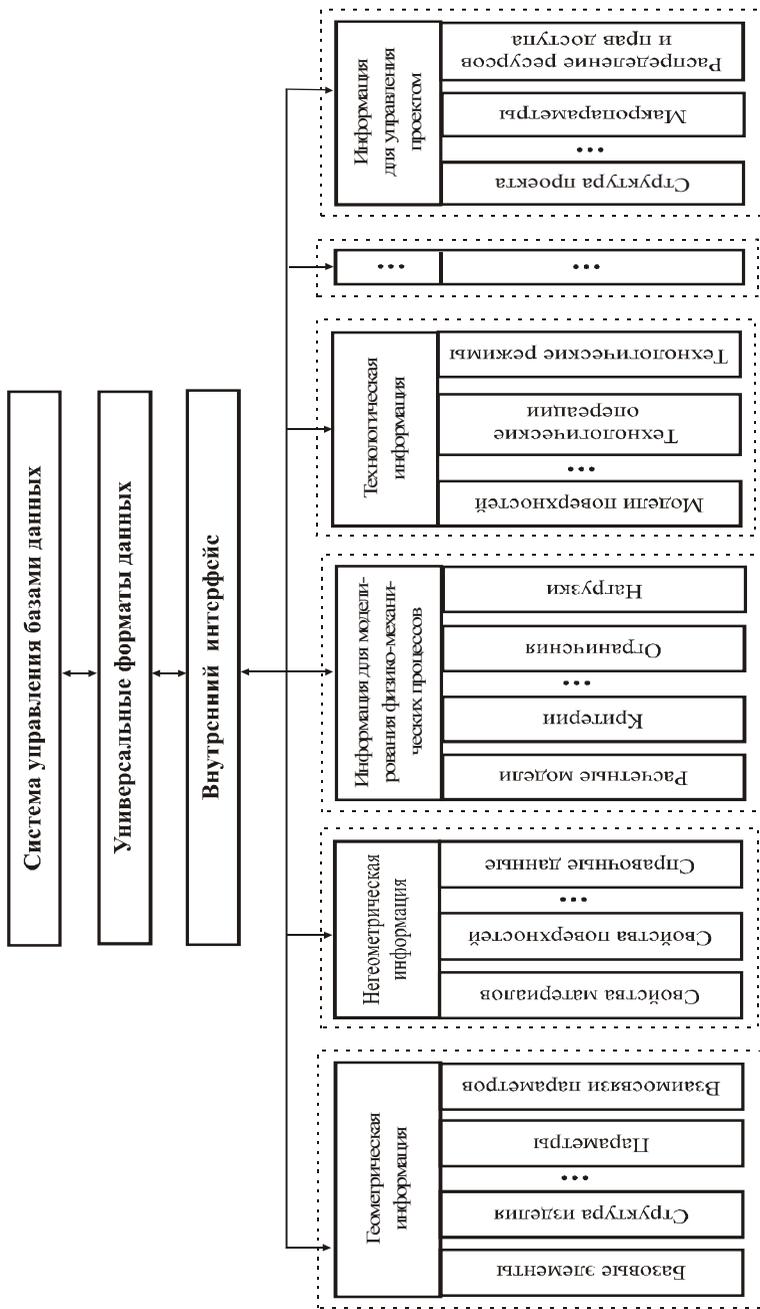


Рис. 14. Структура организации данных в интегрированных системах автоматизированного проектирования, исследования и изготовления

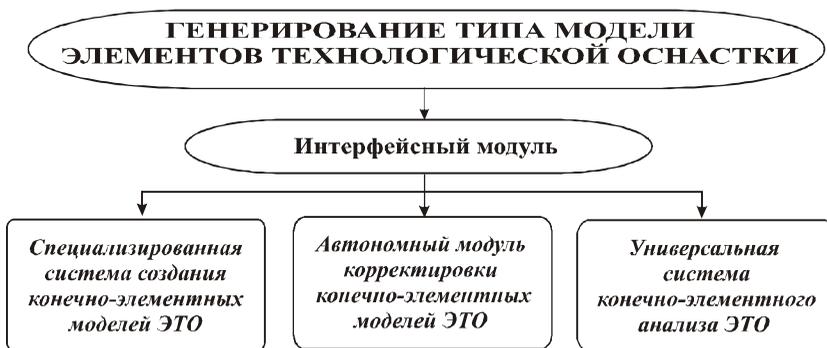


Рис. 15. Специализированная интегрированная система автоматизированного анализа и синтеза элементов технологической оснастки

В пользу данного варианта свидетельствует и то, что он может быть основой для создания отечественных систем автоматизированного проектирования, исследования и изготовления элементов технологической оснастки путем естественного расширения функций и “вымывания” блоков и тех модулей универсальных систем, чьи функции перехватываются, заменяются и улучшаются подсистемами отечественной разработки. Это очень перспективный путь создания крупномасштабных отечественных разработок, причем:

- без прерывания процессов проектирования, исследования и изготовления элементов технологической оснастки с применением “штатных” систем, уже используемых отечественными предприятиями;
- с возможностью верификации модулей, создаваемых на разрабатываемых подсистемах, путем сравнения с моделями, создаваемыми в универсальных системах;
- без неизбежной передачи конструкторской и технологической информации, составляющей предмет “ноу – хау”, сотрудникам зарубежных фирм на этапе разработки пилотного проекта;
- с возможностью интенсификации до нужной степени производительности проектных работ и технологической подготовки производства при дополнительной доработке специализированных модулей, ориентируя их на ту или иную группу деталей объектов проектируемых и изготавливаемых изделий;
- с постепенным уменьшением зависимости от компьютерных технологий тех или иных зарубежных фирм и “привязки” к определенным форматам хранения данных о геометрии и конечно-элементных моделях элементов технологической оснастки и основных изделий.

Таким образом, рассматривая и объект описания (элементы технологической оснастки), и инструмент моделирования (CAD/CAM/CAE/PDM-систему), и процесс создания этого инструмента с

системной точки зрения, а также, основываясь на анализе структуры и направлений информационных процессов и потоков, можно определить наиболее значимые (с точки зрения важности решения задачи повышения технологических возможностей отечественных предприятий) этапы:

- разработка математического аппарата описания трудноформализуемых данных при исследовании элементов технологической оснастки;

- разработка на базе создаваемого математического аппарата специализированных подсистем создания моделей элементов технологической оснастки, естественным образом интегрируемых в создаваемые специализированные интегрированные системы автоматизированного анализа и синтеза (СИСААС).

Характерной особенностью предложенного в статье подхода является использование расширенного параметрического подхода. Под параметрами в данном случае понимаются и конструктивные, и технологические, и эксплуатационные параметры, а также характеристики внешних воздействий, особенности конечно-элементной сетки и т.д. Специализированный модуль настроен на определенный класс конструкций. При изменении этого класса требуется только изменение подсистемы формирования структуры исследуемой конструкции.

Использование расширенного параметрического подхода предполагает при этом формирование в специализированном модуле характеристик геометрической формы, параметров технологического оборудования, действующих нагрузок и т.д. С использованием команд универсальных систем и исходных данных от специализированного модуля производится построение геометрической и конечно-элементной моделей исследуемых объектов. Благодаря специальному интерфейсному модулю обеспечивается двусторонняя связь по параметрам, а значит, и направленный многовариантный расчет характеристик напряженно-деформированного состояния. Дополнительно достигается оперативность, учет специфики исследуемого класса объектов, низкая стоимость исследований. Кроме того, специализированный модуль позволяет формировать данные для верификации расчетных моделей исследуемых объектов по результатам экспериментальных исследований [14-23].

Заключение. В статье описано решение следующих задач.

1. На основе анализа цикла жизни машиностроительных изделий предложен обобщенный параметрический подход, который позволяет обеспечить единый подход к проектированию, исследованию и изготовлению элементов технологической оснастки как составному элементу общей задачи автоматизации всего комплекса инженерных работ на предприятии.

2. На основе анализа параметрического пространства, характеризующего основные стороны жизненного цикла изделий, выделена группа параметров, оказывающих существенное влияние на точность изготовления деталей и позволяющих таким образом обеспечивать

повышение технических характеристик выпускаемой продукции.

3. Разработаны подходы к классификации, на основе которой выделены характерные особенности задачи обеспечения прочностных, жесткостных и точностных характеристик элементов технологической оснастки. Предложен так же подход, при котором технологическая система рассматривается комплексно, с учетом оснастки, которая, в свою очередь, оказывает самое непосредственное влияние на точность изготовления деталей.

4. Создана новая интегрированная технология разработки специализированных систем автоматического проектирования, изготовления и исследования элементов технологической оснастки для обеспечения возможности повышения их технических характеристик в процессе изготовления на предприятиях отечественного машиностроения.

5. Предложены структурные схемы и схемы функционирования специализированной интегрированной системы автоматизированного анализа и синтеза на основе соединения универсальных и специализированных модулей.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

- На основе описанной технологии специализированных систем автоматического проектирования, изготовления и исследования элементов технологических систем возможно эффективное решение всего комплекса работ при проектировании, модернизации и подготовке производства новых изделий на отечественных предприятиях. Гибкая, перенастраиваемая структура модульного типа позволяет соединить преимущества универсальных компьютерных систем и специальных модулей.

- Использование обобщенного параметрического подхода позволяет формализовать задачи структурного и параметрического анализа и синтеза элементов технологической оснастки.

- Среди основных отличий предложенной технологии исследований – подход к построению моделей. В универсальных системах это производится только за счет инструментария этих систем (хотя и мощных, но не нацеленных на тот или иной класс конструкций). Построение моделей в специализированных системах – в первую очередь за счет встроенных средств, нацеленных именно на определенный класс конструкций. Перенацеливание последних осуществляется за счет переработки спецмодуля. Такую технологию можно позиционировать как интегрированное расширенное параметрическое специализированное моделирование. При этом, однако, на этапе исследования прочности, жесткости конструкций элементов технологических систем возникает большая научно-техническая проблема обеспечения *достоверности* создаваемых расчетных моделей исследуемых объектов. Для решения этой проблемы предполагается применение расчетно-экспериментального метода на базе метода конечных элементов и голографической интерферометрии [14-16].

- Предложенный в работе подход позволяет строить и развивать отечественные специализированные интегрированные системы

автоматизированного анализа прочностных и жесткостных характеристик машиностроительных изделий и элементов технологических систем для их изготовления. Преимущество данного подхода – формализация всего процесса параметрического анализа прочности и жесткости исследуемых конструкций, нечувствительность к типу параметров, расширение понятия обобщенного параметра на нечисловые множества, возможность создания на этой базе специализированных систем, обеспечивающих оперативный анализ конструкций и выбор рациональных параметров по критериям прочности, жесткости, точности, минимальной металлоемкости. В предложенной схеме исследований реализована обратная связь, позволяющая проводить целенаправленный многовариантный анализ конструкций.

- Разработанное направление интенсификации исследований может служить основой для создания семейств специализированных систем проектирования, исследования и изготовления элементов различных конструкций и элементов технологической оснастки для их изготовления на отечественных предприятиях.

В результате точность моделирования формы деталей ОБТТ при внедрении разрабатываемых методов и систем может быть повышена до требуемой с учетом технологических возможностей оборудования на стадии проектирования оснастки путем выбора рациональных параметров по критериям прочности, жесткости и металлоемкости.

Описанный подход в дальнейшем может быть распространен на элементы механических систем различного типа с алгоритмической и программной реализацией в виде специализированных систем автоматического проектирования.

Список литературы. 1. Капустин Н.М., Дьяконова Н.П., Кузнецов П.М. Автоматизация машиностроения. – М.: Высшая школа, 2002. – 223 с. 2. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. – М.: Мир, 1981. – 456 с. 3. Ткачук Н.А. Методы исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологических систем. // Сб. научн. тр. “Динамика и прочность машин”. – Харьков: ХГПУ. – 1997. – вып.55.– С.194-204. 4. Львов Г.И., Ткачук Н.А. Моделирование и анализ элементов технологических систем листовой штамповки // Механіка та машинобудування. – 1997.– № 1. – С.34-39. 5. Гриценко Г.Д., Малакей А.Н., Миргородский Ю.Я., Ткачук А.В., Ткачук Н.А. Интегрированные методы исследования прочностных, жесткостных и динамических характеристик элементов сложных механических систем // Механіка та машинобудування. – 2002.– №1. – С.6-13. 6. Ткачук Н.А. Параметрические модели при расчетно-экспериментальном исследовании прочности и жесткости элементов сложных механических систем // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ “ХПИ”. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2002.– 1(5). – С.386-390. 7. Ткачук Н.А. Специализированные системы автоматизированного исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологической оснастки // Вісник Національного технічного університету “ХПИ”. Тематичний випуск: “Динаміка і міцність машин”. Збірник наукових праць НТУ “ХПИ”. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2003.– № 12. – Т.1.– С.166-171. 8. Веретельник Ю.В., Миргородский Ю.Я., Пелешко Е.В., Ткачук Н.А. Параметрические модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных систем // Механіка та машинобудування. – 2003. – № 1.– Том 2. – С.3–8. 9. Ткачук Н.А., Пономарев Е.П., Миргородский Ю.Я., Веретельник Ю.В., Гриценко Г.Д. Специализированные системы для автоматизированного проектирования, исследования и изготовления транспортных средств специального назначения и элементов технологических систем // Вісник Національного

технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск: “Колесные и гусеничные машины специального назначения”. Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2003.– № 12. – Т.1.– С.166-171. **10.** *Ткачук Н.А., Бруль С.Т., Малакей А.Н., Гриценко Г.Д., Орлов Е.А.* Структура специализированных интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза элементов транспортных средств специального назначения // *Механіка та машинобудування*. – 2005. – № 1.– С.184-194. **11.** *Артемов И.В.* О необходимости внедрения автоматизированных систем технологической подготовки производства на крупном машиностроительном предприятии // *Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск: “Машинознавство та САПР”*. Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005.– № 53. – С.12-18. **12.** *Ткачук Н.А., Орлов Е.А., Головченко В.И., Гоголь Н.А.* Экспресс – модели и экспресс – системы для оперативного решения задач анализа и синтеза элементов сложных механических систем // *Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск: “Машинознавство та САПР”*. Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005.– № 53. – С.116-137. **13.** *Головченко В.И.* Система автоматизированной генерации твердотельной и конечно-элементной модели для исследования напряженно-деформированного состояния сварной рамы ветроэнергетической установки // *Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск: “Машинознавство та САПР”*. Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005.– № 60. – С.29-51. **14.** *Ткачук Н.А.* Интенсивная схема экспериментальных исследований элементов технологических систем // *Сб. научн. тр. “Динамика и прочность машин”*. – Харьков: ХГПУ. – 1998. – вып.56. – С.175-181. **15.** *Ткачук Н.А.* Экспериментальное определение параметров конечно-элементных моделей // *Механіка та машинобудування*. – 1998. – № 1. – С.68-75. **16.** *Капустин А.А., Ткачук Н.А.* Расчетно-экспериментальный метод исследования деформаций элементов механических систем // *Вестник Харьковского государственного политехнического университета*. – Харьков: ХГПУ – 1999.– вып.53.– С.148-155. **17.** *Ткачук Н.А.* Комбинированные расчетно-экспериментальные методы исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологических систем // *Механіка та машинобудування*. – 1999. – № 1.– С.37-46. **18.** *Ткачук Н.А.* Экспериментальное определение характера граничных условий в сложных механических системах // *Механіка та машинобудування*. –2000. – № 1. – С.28-34. **19.** *Ткачук Н.А.* Влияние конструктивных и эксплуатационных параметров на характер нагружения элементов технологической оснастки // *Сб. научн. тр. “Динамика и прочность машин”*. – Харьков: ХГПУ. – 2000. –вып. 57. – С.154-159. **20.** *Ткачук Н.А.* Расчетно-экспериментальное исследование элементов сложных механических систем // *Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам*. – Одесса. – 2001. – Вып.5. – С.198-201. **21.** *Ткачук Н.А.* Расчетно-экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния элементов сложных механических систем // *Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск: “Динаміка і міцність машин”*. Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2002.– № 10. – С.126-132. **22.** *Ткачук Н.А.* Расчетно-экспериментальный метод исследования напряженно-деформированного состояния элементов транспортных средств и технологических систем // *Вісник Державного технічного університету сільського господарства. Тематичний випуск: “Механізація сільськогосподарського виробництва”*. Збірник наукових праць Державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2003.– вып.21. – С.20-29. **23.** *Чепурной А.Д., Глинин Г.П., Гусев Ю.Б., Пеклич М.М., Барчан Е.Н., Ткачук Н.А.* Расчетно-экспериментальный метод определения параметров элементов машиностроительных конструкций // *Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск: “Машинознавство та САПР”*. Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005.– № 53. – С.162-176.

Поступила в редколлегию 15.12.2005

В.И. ГОЛОВЧЕНКО, Головной специализированный конструкторско-технологический институт, г. Мариуполь

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ
ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ И КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНОЙ РАМЫ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

Запропоновані нові підходи до побудови системи генерації твердотільної та скінченно-елементної моделей зварної рами вітроенергетичної установки. Наведено результати тестових досліджень.

New approaches are offered to construction of generating system of solid and finite-elements models of welded frame of wind-power plants. The test results of researches are presented.

Актуальность задачи. Источником актуальности задач исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) является широкое распространение пространственных конструкций разной формы, размеров и назначения. При проведении подобных исследований необходимо учесть целый ряд самых различных аспектов. В данной работе предлагается подход, который позволяет анализировать сложное поведение пространственных конструкций, изменяя определенные параметры из некоторого множества. Множество этих параметров содержит как геометрические и физико-механические характеристики, так и тип и величину внешней нагрузки, типы конечных элементов и характер конечно-элементной сетки.

На этапе анализа прочности и жесткости существующих пространственных конструкций наиболее широко применяются методы конечно-элементного анализа. За последние годы технология таких исследований почти не изменилась, а наиболее современные разработки мировых поставщиков специализированного программного обеспечения позволяют исследователю иметь широкий выбор инструментов для их проведения. Разработанный и общеупотребляемый алгоритм анализа напряженно-деформированного состояния состоит из следующих этапов: создания геометрической модели; определения типа задачи; создания конечно-элементной модели (КЭМ); решения задач анализа напряженно-деформированного состояния и синтеза рациональных параметров конструкции.

На данный момент все эти этапы автоматизированы и реализованы в современных CAD/CAE-комплексах, которые позволяют с минимальными затратами времени и сил выполнять полный цикл исследований объектов любого уровня сложности и получать необходимые результаты расчетов в