

Машиностроение Mechanical engineering

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 621.9.06
doi: 10.30987/2782-5957-2024-11-4-13

ОПЫТ И ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ УНИФИЦИРОВАННЫХ СТАНОЧНЫХ МОДУЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Александр Григорьевич Федук[✉]

Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия
fedukov.lvdu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8245-8610>

Аннотация

Цель исследования: показать основные проблемы применения унифицированных деталей (модулей) при проектировании и изготовлении модульным методом.

Задача: определить основные проблемы и пути решения при применении станочных модулей при изготовлении и проектировании оборудования на примере двух изделий. Рассмотреть твердость различных модулей.

Методы исследования: экспериментальные исследования по определению микротвердости станочных модулей. Проектирование и изготовление оборудования на практике.

Новизна работы. Рассмотрены станочные модули и сложности их применения. Показаны

диаграммы микротвердости некоторых станочных модулей.

Результаты исследования: показана часть проблем при использовании станочных модулей при проектировании. Выполнены экспериментальные исследования измерения микротвердости различных модулей.

Выводы. Использование станочных модулей позволяет уменьшить время изготовления оборудования и облегчает процессы проектирования. Но существует ряд проблем, которые необходимо решать. Пока не всегда, получается, менять один модуль на другой без дополнительной доработки.

Ключевые слова: модульный принцип, изготовление, оборудование, проектирование, детали, узлы.

Ссылка для цитирования:

Федук А.Г. Опыт и проблемы применения унифицированных станочных модулей при проектировании и изготовлении оборудования / А.Г. Федук // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 11. – С. 4-13. doi: 10.30987/2782-5957-2024-11-4-13.

Original article
Open Access Article

EXPERIENCE AND PROBLEMS OF USING UNIFIED MACHINE MODULES IN DESIGN AND MANUFACTURE OF EQUIPMENT

Aleksandr Grigoryevich Feduk[✉]

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia
fedukov.lvdu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8245-8610>

Abstract

The study objective: to show the main problems of using unified components (modules) in the design and manufacture by means of modular approach.

Task: to find the main problems and solutions when using machine tools in manufacture and design of equipment using two item samples; to consider the hardness of various modules.

Research methods: experimental studies to determine the micro-hardness of machine modules. Design and manufacture of equipment in practice.

The novelty of the work: Machine tools and the complexity of their application are considered. Micro-hardness diagrams of some machine modules are shown.

Research results: some of the problems with the use of machine tools in the design are shown. Experi-

mental studies of measuring the micro-hardness of various modules are performed.

Conclusions: The use of machine tools makes it possible to reduce the production time of equipment and facilitates design processes. But there are a number of problems that need to be addressed. So far, it is not always possible change one module to another without additional refinement.

Keywords: modular principle, manufacturing, equipment, design, parts, nodes.

Reference for citing:

Fedukov AG. Experience and problems of using unified machine modules in design and manufacture of equipment. Transport Engineering. 2024;11:4-13. doi: 10.30987/2782-5957-2024-11-4-13.

Введение

Современная промышленность все больше использует при проектировании и изготовлении различного оборудования модульный принцип. Такие тенденции [1, 2] внедряются в различных областях промышленности, таких как станкостроение [3, 4], робототехника [5], приборостроение [6] и другие.

Модульный принцип основан на использовании унифицированных деталей, узлов, механизмов при проектировании и производстве оборудования, которые выпускают специализированных предприятия по их изготовлению. При его приме-

нении конструктор проектирует лишь базовые детали оборудования, а узлы выбирает по каталогам производителей модулей [3]. При этом производство изготавливает детали и узлы, которые не унифицированы. Сборка же зависит от сроков поставки модулей и времени производства базовых деталей.

Основными модулями для станочного оборудования сейчас являются различные виды направляющих, каретки, шарико-винтовые пары, муфты и др. Примеры модулей представлены на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Примеры модулей: а) винт трапецидальный; б) линейный подшипник с фланцем
Fig. 1. Examples of machine modules: a) trapezoidal screw; b) linear bearing with flange

Сейчас станочные модули широко применяются при изготовлении оборудования, как на производствах, так и для обычных потребителей. Они широко используются в хоббийном оборудовании. Из них производят основные узлы в недорогих 3D-принтерах, станках с ЧПУ.

Станочные модули раньше можно было приобрести в специализированных магазинах и производствах, а на данный

момент уже данные изделия можно приобрести в различных маркетплейсах любому человеку. Тем самым уменьшаются сроки поставки, и расширяется область применения. Но главная проблема является, что в основном данные изделия в большинстве случаев изготавливают в странах Азии, а наша страна их делает в небольшом объеме.

В лабораториях ФГБОУ ВО «БГТУ» периодически проходят работы по изготовлению и проектированию оборудования, используя модульный принцип. Уже сложился опыт применения и использования станочных модулей [7].

Основная часть

Модуль линейного перемещения на базе шарико-винтовой пары и направляющих рельс

Модуль линейного перемещения один из самых распространенных узлов в станках. Как правило, он служит для пере-

В данной работе будут рассмотрены два изделия модуль линейного перемещения и двухстоечный винтовой пресс, и показаны основные проблемы применения станочных модулей при проектировании и изготовлении.

мещения рабочих органов. Рассмотрим типовую конструкцию, представленную на рис. 2.

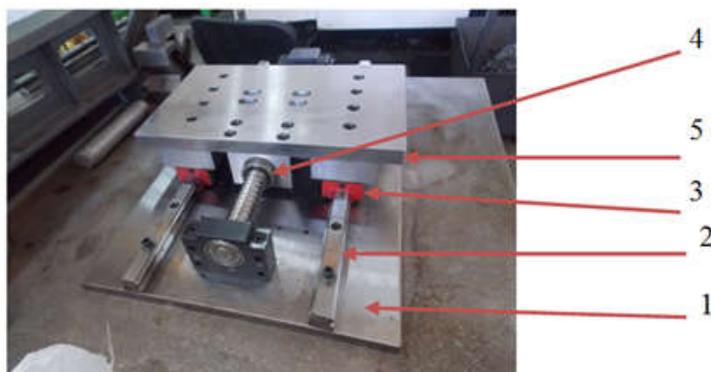


Рис. 2. Модуль линейных перемещений
Fig. 2. Linear motion module

Основными компонентами модуля линейного перемещения являются: 1 – основание (базовая плита); 2 – рельсовые направляющие; 3 – каретки; 4 – комплектная шарико-винтовая пара (ШВП), включает в себя винт, гайку, корпус гайки, подшипниковые опоры; 5 – проставки. На рис. 1 не представлены: двигатель, муфта, кронштейн под двигатель.

Такая конструкция рассматривалась в работах [8, 9]. Рассмотрим основные проблемы при применении модулей при проектировании и изготовлении.

Проектирование. В конструкции, представленной на рис. 2, унифицированными станочными модулями являются рельсовые направляющие (поз. 2), каретки (поз. 3), комплектная шарико-винтовая пара (поз. 4) которая также состоит из модулей (подшипниковые опоры, шарико-винтовая пара, гайка, корпус гайки). Большинство производителей для своей продукции помимо каталогов с основными размерами комплектующих, уже дают 3D-модели в формате *STEP* для их использо-

вания в различных CAD системах при проектировании.

Инженеру-конструктору, как правило, остается правильно подобрать модули, и спроектировать основные детали, которые необходимо будет изготовить (стол, проставки, базовая плита). Выбор комплектующих сводится к расчетам и рекомендациям производителей [10, 11].

Проектирование модулей, таких как направляющие рельсы и ШВП, сводится к определению габаритов. В формате *STEP* для направляющих, как правило, дается лишь определенная длина детали. Для винтов ШВП требуется определить установочные размеры под подшипниковые опоры. Можно использовать размеры, рекомендуемые производителями подшипниковых опор [11]. Если же используются опоры нестандартные, то необходимо проектировать посадочные места винта ШВП под них.

При проектировании модуля линейных перемещений для определения номинальных размеров и их допусков приме-

няют расчет размерных цепей. Для узлов не высокого класса точности этого вполне хватает. При изготовлении же прецизионных и высокоточных узлов и сохранить модульный принцип, необходимо учитывать при решении размерных цепей и контактные деформации в плоских стыках. Один из методов представлен в работе [8]. Он учитывает силовые характеристики узла (радиальная сила и момент холостого хода) и точность позиционирования. Также при определении всех размеров и назначении на них допусков необходимо выполнять расчеты сложных размерных цепей в различных направлениях, чтобы сохранить модульный принцип.

На сегодняшний день с появлением 3D-моделирования зачастую пренебрегают решением размерных цепей, тем самым появляется большое количество ошибок.

Еще одним преимуществом станочных модулей, что их выпускают различного класса точности, что позволяет при решении размерных цепей ужесточать допуски при необходимости, и использовать более точные модули, а не изготавливать их. Также это позволяет, подобрать необходимые допуски и для изготавливаемых деталей, не теряя принцип модульности.

После проведения всех расчетов необходимо разработать чертежи для производства.

Проблемы обработки станочных модулей. Считается, что обрабатывать модули нет необходимости. Но это не всегда так. Например, рельсовые направляющие, винты продаются большой длины. У поставщиков, как правило, предоставляют

услуги по резке в размер. Но очень часто винты и рельсовые направляющие приобретаются мерной длины, как металлопрокат. Поэтому приходится приобретать модули длиной больше необходимой. Для обработки в размер, как правило, используют абразивные отрезные станки. Это связано с тем, что обычно данные модули имеют высокую твердость. Хотя продавцы об этом не говорят, но подразумевают.

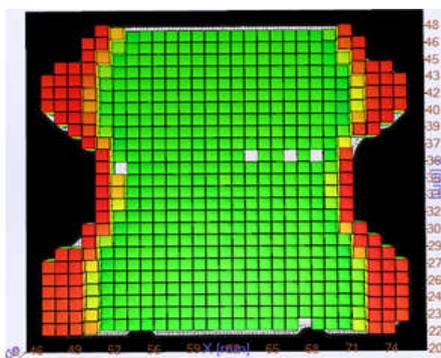
Для некоторых модулей были проведены исследования на микротвердомере *Hardwin XL KB 30 S* по микротвердости следующих модулей рельсовой направляющей *HGR30* (рисунок 3) и катаного винта ШВП *ER32* (рис. 4) одного из производителя.

На изготовленных микрошлифах для каждого модуля была создана сетка с шагом 1мм и отступом от края 0,3 мм по двум осям. Красным цветом указаны точки с максимальной твердостью, а зелеными с минимальными значениями твердости. Измерения проходили под нагрузкой 10 кг по методике HV10

На рис. 3, б по диаграмме микротвердости можно увидеть, что максимальную твердость имеют боковые части где, как правило, происходят контакты шариков каретки при движении по данному рельсу. По результатам измерения твердость варьируется от 59 HRC до 63 HRC (для понимания все значения твердости в исследованиях были переведены из HV в HRC микротвердомером автоматически) и глубиной 1...3 мм. Центральная часть (зеленый цвет) имеет твердость 20...25 HRC.



а)



б)

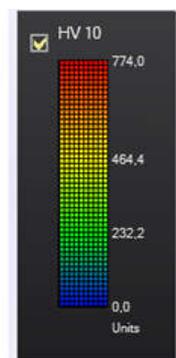
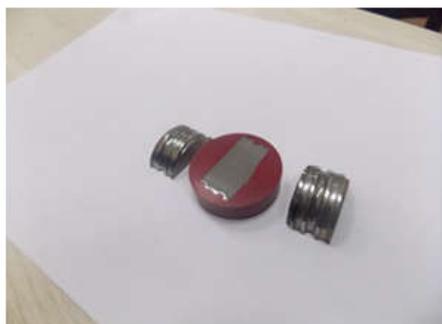
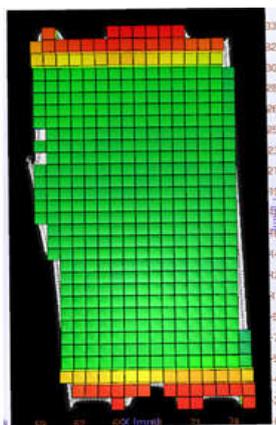


Рис. 3. Исследование микротвердости модуля рельсовой направляющей HGR30: а – микрошлифы; б – диаграмма твердости и шкала твердости

Fig. 3. Study of microhardness of the HGR30 rail guide module: a) microsections; b) hardness diagram and hardness scale



а)



б)

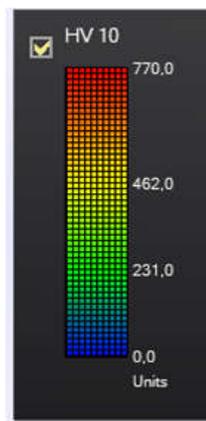


Рис. 4. Исследование микротвердости модуля винта ШВП ER32: а – микрошлиф и заготовка; б – диаграмма твердости и шкала твердости

Fig. 4. Study of the microhardness of the ER32 ball screw module: a) microsection and workpiece; b) hardness diagram and hardness scale

На рис. 4, б на диаграмме твердости можно увидеть, что максимальная твердость находится на витках винта, глубиной 1...2 мм и имеет твердость 59...61 HRC. Как и на рельсе, центральная часть имеет твердость 20...25 HRC.

Из полученных данных можно говорить, что контактирующие поверхности деталей имеют высокую твердость, что позволяет уменьшить износ деталей и увеличить ресурс их работы. Это также одна из причин использования станочных модулей в производстве.

В большинстве случаев рельсы и винты изготавливают из конструкционной стали 40, как говорят производители и продавцы модулей. В лаборатории ФГБОУ ВО «БГТУ» на спектрометре ДФС500 при определении химического состава это подтвердилось.

Помимо отрезки винта в размер, необходимо обработать и посадочные места под подшипниковые опоры и для соединительной муфты. Винты поставляют в виде прута с нарезанным профилем, как ранее уже говорилось. Пример поставки винта представлен на рис. 1, а. Есть производители, которые по чертежу предоставляют обработку мест под подшипниковые опоры и муфты для винтов ШВП, и вопросы по обработке отпадают. Но данный процесс затягивается по времени.

Чтобы изготовить данные поверхности требуется токарная и шлифовальная обработка. При этом необходимо установить винт с наименьшим биением, что довольно затруднительно. Для этого используют специальные приспособления, в которых решается данная проблема. На рис. 5 показан пример обработки на токарном станке в рамках лабораторий БГТУ.



Рис. 5. Черновая обработка винтов ШВП на токарном станке 16K20

Fig. 5. Rough machining of ball screws on a 16K20 lathe

Дополнительной трудностью при токарной обработке является обработка накатанного слоя винта, для этого, например, можно использовать резцы с кубическим нитридом бора [12].

Это основные проблемы при обработке модулей, входящие в модуль линейного перемещения станка.

Двухстоечный ручной винтовой пресс

Станочные модули можно применять не только в станочном оборудовании, но и в различных приспособлениях и оснастке. В ходе одного из проекта стало необходимо запрессовывать детали и подшипники в длинных валах. Для этого потребовалось изготовить двух стоечный ручной пресс.

являются: 1 – стол; 2 – неподвижная часть; 3 – подвижная часть; 4 – цилиндрические направляющие; 5 – линейные подшипники с фланцами; 6 – трапецидальный винт с гайкой; 7 – штурвал; 8 – узел крепления трапецидального винта; 9 – ножки; 10 – втулки.

Общий вид представлен на рис. 6. Основными деталями данной конструкции

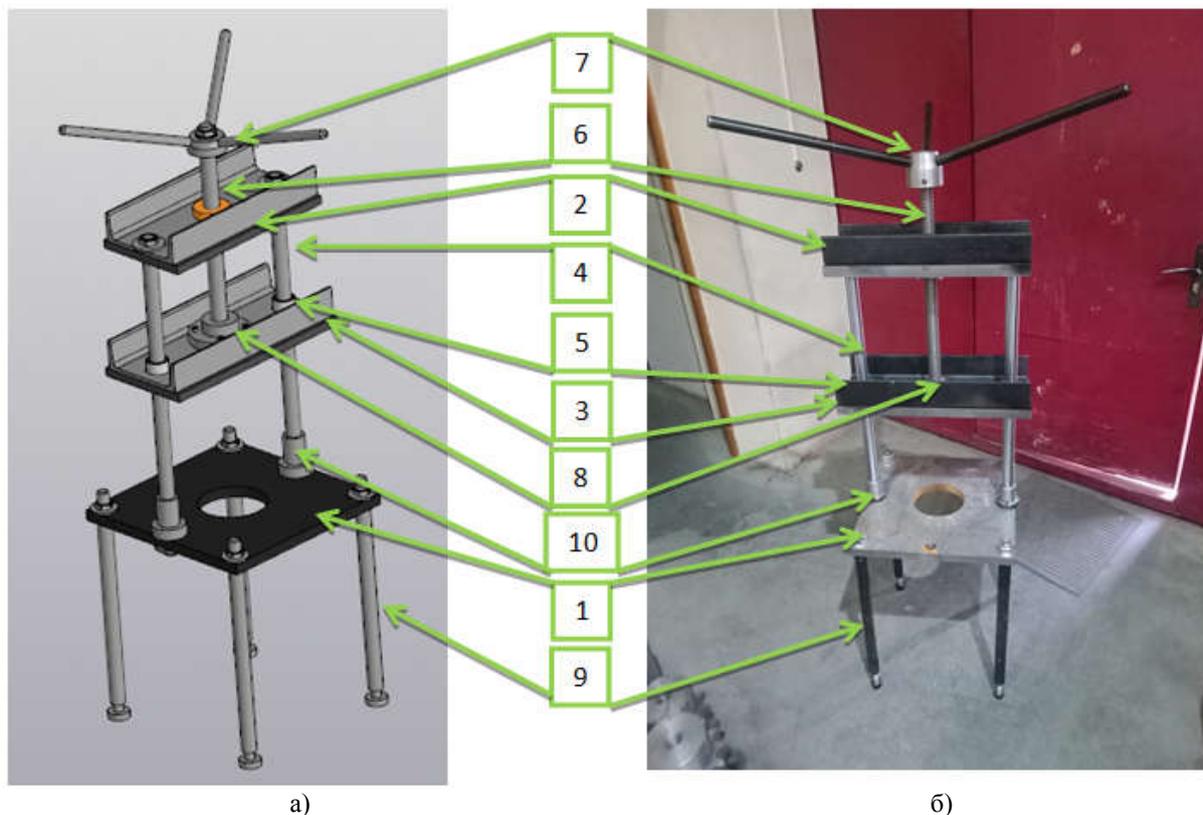


Рис. 6. Двухстоечный ручной винтовой пресс:
 а – 3D-модель, б – образец, изготовленный пресс в лаборатории ФГБОУ ВО «БГТУ»
 Fig. 6. Two-column manual screw press:
 a) 3D-model, b) a sample of a press manufactured in the laboratory of the Federal State Budgetary
 Educational Institution of Higher Education "BSTU"

При проектировании изготовлении данной конструкции пресса использовались следующие модули:

- цилиндрические направляющие (позиция 4);
- линейные подшипники с фланцами (позиция 5);

– трапецидальный винт с гайкой (позиция 6).

Они являются самыми ответственными в конструкции.

Рассмотрим основные проблемы при применении модулей при проектировании и изготовлении.

Проектирование. Классический винтовой ручной пресс можно спроектировать по уже существующим методам, например, которые описаны в работе [13]. Основными этапами проектирования являются:

1. Расчет силового винта;
2. Определение размеров гайки;
3. Определение КПД передачи винт-гайка;
4. Определение диаметра штурвала;
5. Определение диаметра резьбы у направляющих стоек;
6. Выбор стопорного винта и проверка на прочность.

В каждом этапе выполняются расчеты по определению всех основных размеров, выполняются геометрические и прочностные расчеты. По полученным результатам выбираются ближайшие по размерам станочные модули. После всех расчетов можно начать 3D моделирование прессы. Модули можно использовать, которые предоставляет производитель в формате *STEP*.

При проектировании модулей (цилиндрические направляющие, трапецеидальный винт) необходимо определить их длину. Аналогично винту ШВП и рельсовым направляющим в *STEP* дается лишь малая часть длины. После чего необходимо определиться с креплением их в прессе. Для цилиндрических направляющих с двух сторон необходимо сделать резьбы, которые ранее определены по методике, описанной в работе [13]. Для трапецеидального винта необходимо спроектировать места под крепления штурвала и подвижной части прессы. Тем самым уже есть потребность обработки станочных модулей.

Помимо станочных модулей конструктор проектирует оставшиеся детали прессы, согласно полученным расчетам [13]. При проектировании необходимо использовать размерные цепи. Далее необходимо провести прочностные расчеты, например, использовать метод конечных элементов или воспользоваться правилами сопротивления материалов. После всех

проведенных расчетов необходимо разработать чертежи на детали.

Проблемы обработки станочных модулей. Как и для модуля линейного перемещения используются детали, которые необходимо обрабатывать. Это трапецеидальный винт и цилиндрические направляющие. Эти модули также приобретаются большой длины. Их необходимо резать в размер. Аналогично модулям, которые упоминались ранее, обработку в размер происходит абразивно отрезными станками из-за высокой твердости. В трапецеидальном винте и цилиндрических направляющих необходимо обрабатывать посадочные места для крепления к другим деталям прессы. Есть производители, которые выполняют данные операции, но это требует больших затрат.

В лаборатории ФГБОУ ВО «БГТУ» также на микротвердомере *Hardwin XL KB 30 S* были проведены исследования микротвердости следующих модулей: цилиндрической направляющей 30 мм (рис. 7) и трапецеидального винта 30×6 (рис. 8) одного из производителя.

Для уменьшения времени исследования микротвердости модулей, сетка в нашем случае была сделана не на всю поверхность изделия. Шаг 0,5 мм и отступ от края 0,3 мм по двум осям. Измерения проходили под нагрузкой 2 кг по методике HV2.

На рис. 7, а представлен шлиф направляющей 30мм, а на рис. 7, б диаграмма измерения. Как и ранее говорилось, красным цветом на диаграмме указана максимальная твердость, а зеленым меньшая. В результате измерения можно увидеть, что на поверхности направляющей имеет максимальную твердость 60...62 HRC и глубиной 1...2 мм, а ближе к центру имеет 20...25 HRC.

На рис. 8, а представлен микрошлиф участка трапецеидального винта в продольном разрезе. Диаграмма измерения указана на рис. 8, б. Мы можем видеть, что все измерения красного цвета. Поверхность однородна и нет перепадов микротвердости. Величина измерений 20...25 HRC.

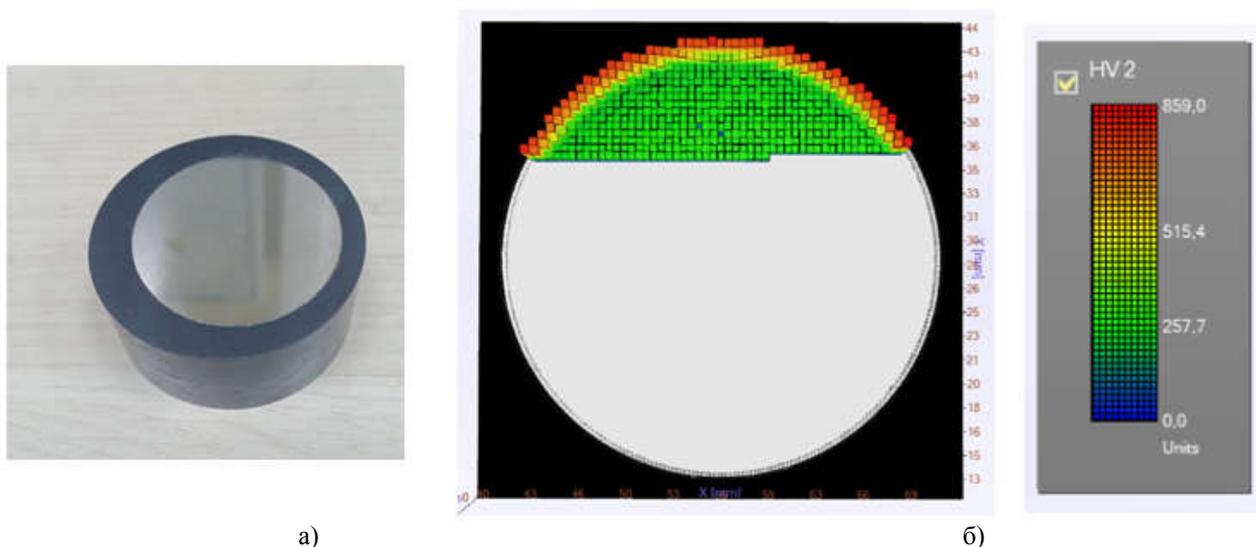


Рис. 7. Исследование микротвердости цилиндрической направляющей 30: а – микрошлиф; б – диаграмма твердости и шкала твердости
Fig. 7. Study of the microhardness of the cylindrical guide 30: a) microsection; b) hardness diagram and hardness scale

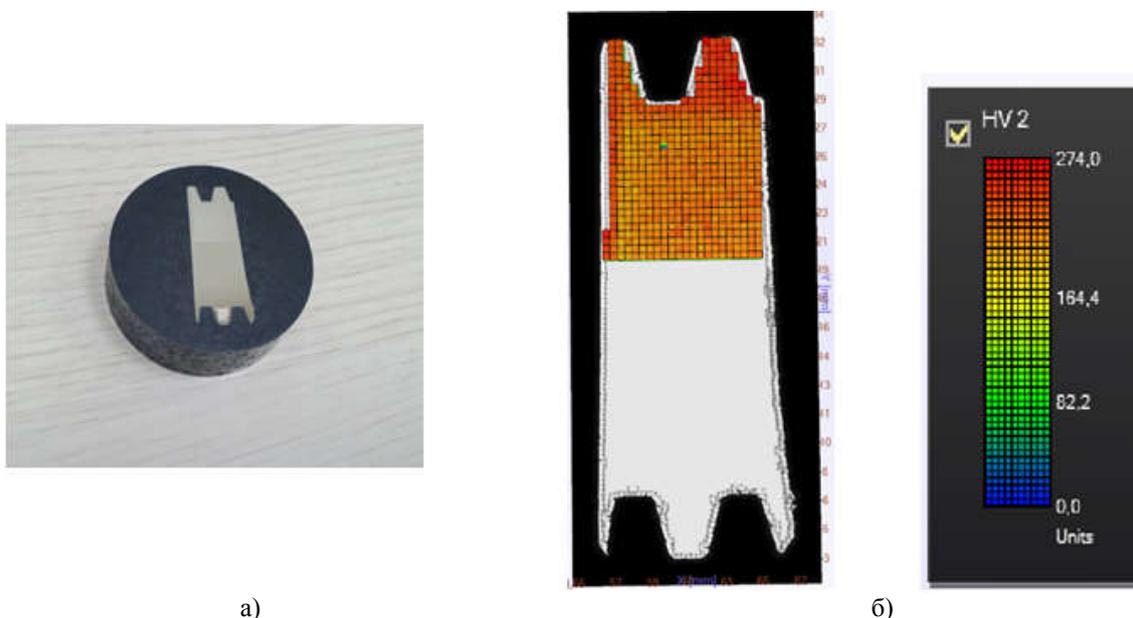


Рис. 8. Исследование микротвердости трапецидального винта 30×6: а – микрошлиф; б – диаграмма твердости и шкала твердости
Fig. 8. Study of the microhardness of the 30x6 trapezoidal screw: a) microsection; b) hardness diagram and hardness scale

Из полученных результатов исследования микротвердости можно увидеть, что при обработки трапецидального винта не возникнет сложностей обработки. Обрабатываться на винте будут шейки под штурвал и под узел крепления с подвижной частью. Основной сложностью обработки винта является его закрепление на станке. Необходимо использовать приспособление для обеспечения соосности наружного диаметра винта и обрабатываемых поверхностей.

На цилиндрических направляющих с двух сторон необходимо выполнить наружную резьбу исходя из конструкции пресса. Существующие стандартные держатели вала, как правило, обжимают по диаметру вал, и не подойдут для пресса. Поэтому требуется лезвийная обработка. Аналогично винту ШВП используются такие же методы обработки.

Также можно использовать термообработку и раз упрочнить обрабатываемые части направляющей, например, использо-

вать ТВЧ (обработка токами высокой частоты). Данный метод можно использовать, если нет высоких требований к соосности. Есть высокая степень вероятности, что после термообработки деталь деформируется и ее поведет.

Аналогично винту ШВП и рельсовой направляющей на спектрометре ДФС500

Выводы

Модульное проектирование и унифицированные изделия все больше входят в промышленность. Станочные модули получили широкое применение при изготовлении оборудования, но имеется ряд сложностей. В данной работе на примере спроектированных и изготовленных двух изделий можно сделать следующие выводы.

1. Станочные модули получили широкое применение, и приобрести их можно как предприятию, так и любому человеку. Но это не значит, что нет необходимости доработки данных изделий и проектирования. Поэтому при использовании станочных модулей необходимо давать время не только на закупку и доставку комплектующих, но и время на их доработку и обработку.

2. В работе представлены исследования по микротвердости и химического состава некоторых модулей. Зачастую производитель не указывает данные характеристики. При этом другие производители станочных модулей могут закладывать

определялся и химический состав модулей. Используемые модули изготовлены из конструкционной стали 40.

Если изготавливать данные детали на производстве, то требуется очень большое количество оборудования. А протяженность деталей добавляет сложности для обеспечения точности размеров деталей.

другие параметры. Можно сделать вывод, что при использовании станочных модулей необходимо выполнять приемку по требуемым характеристикам.

3. При применении протяженных модулей необходимо их обработка по длине или дополнительных элементов, например, изготовление мест под подшипниковые опоры под винт ШВП. Некоторые компании поставляют услуги по обработке, но это также требует времени и дополнительных затрат.

4. В связи с тем, что модули делают массово узконаправленные производства, то их себестоимость не так высока, а если изготавливать на производстве, то необходимо большое количество оборудования и времени. Поэтому использование данных изделий актуально.

В данной работе на примере двух изделий описываются трудности при обработке и проектировании оборудования. Но это лишь малая часть того, с чем сталкиваются производители оборудования при применении станочных модулей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Киричек А. В. Современные тенденции создания модульного оборудования / А. В. Киричек, А. А. Жирков, С. О. Федонина // Вестник Брянского государственного технического университета. 2015. № 4(48). С. 100. – DOI <https://doi.org/10.12737/17145>.
2. Мартыненко О. В. Применение модульного принципа в конструкторско-технологической подготовке производства / О. В. Мартыненко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12-4. С. 605-608.
3. Гострый Н. Е., Плетнев В. А. Проектирование металлорежущих станков по модульному принципу. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 5 – 8 апреля, 2016, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. М.: ООО «КванторФорм», 2016.
4. Аверьянов О.И., Модульный принцип построения станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, Москва, 1987. 232 с.
5. Волосатова Т. М. Анализ направлений применения принципа модульности при разработке и использовании учебных проектов по робототехнике в вузах / Т. М. Волосатова, Д. А. Барсуков, П. И. Тамков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2020. № 4(52). С. 133-148.
6. Крылова А.А. Исследование и разработка модульного технологического оборудования для единичного и мелкосерийного производства: диссертация Дис. канд. техн. наук: 05.11.14/ А.А. Крылова. Санкт-Петербург. 310 с.
7. Захаров Л. А., Щербаков А. Н., Хандожко А. В., Федонин О. Н., Польский Е. А. Проектирование металлорежущих станков с использованием унифицированных изделий // Научные труды

- нологии в машиностроении. 2016. №. 10. С. 20-25. - DOI: <https://doi.org/10.12737/21424>.
8. Федуков А.Г. Метод проектирование модулей линейных перемещений на базе унифицированных модулей / Транспортное машиностроение. 2022. № 12 (12). С. 26-35.
 9. Федуков А.Г. Анализ контактного сближения в плоских стыках специального оборудования при использовании унифицированных модулей/ Транспортное машиностроение. 2023. № 1 (13). С. 4-13.
 10. Каталог компании «HIWIN» по производству линейных направляющих. С. 147.

REFERENCES

1. Kirichek AV, Zhirkov AA, Fedonina SO. Modern trends in developing modular equipment. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2015;4(48):100. – DOI <https://doi.org/10.12737/17145>
2. Martynenko OV. Application of the modular principle in design and operation analysis. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016;12-4:605-608.
3. Gostroy NE, Pletnev VA. Design of metal-cutting machines according to the modular principle [Internet]. All-Russian Scientific and Technical Conference, April 5-8, 2016: Student Scientific Spring: Machine-building Technologies. Moscow, Bauman Moscow State Technical University; KvantorForm LLC; 2016.
4. Averyanov OI, Modular principle of CNC machine tool construction. Moscow: Mashinostroenie; 1987.
5. Volosatova TM, Barsukov DA, Tamkov PI. Analysis of directions for using the principle of modularity in the development of training projects on robotics in universities. *The Caspian Journal: Management and High Technologies*. 2020;4(52):133-148.
6. Krylova AA. Research and development of modular production equipment for single and small-scale

11. Каталог компании «HIWIN» по производству шариковых приводов. С. 122.
12. Грубый С. В. Исследование режущих свойств резцов из нитрида бора / С. В. Грубый, В. В. Лапшин // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 6. С. 5. – DOI 10.7463/0612.0423622.
13. Бельков, В.Н. Б44 Основы расчёта и конструирования винтовых механизмов: учеб. пособие / В. Н. Бельков. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. 160 с.

- production [dissertation]. [St. Petersburg (RF)]: 2021.
7. Zakharov LA, Shcherbakov AN, Khandozhko AV, Fedonin ON, Polsky EA. Machine-tool design using common parts. *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2016;10:20-25. DOI: <https://doi.org/10.12737/21424>
8. Fedukov AG. Method to design linear displacement modules based on unified modules. *Transport Engineering*. 2022; 12:26-35.
9. Fedukov AG. Analysis of contact approach in flat joints of special equipment when using unified modules. *Transport Engineering*. 2023; 1:4-13.
10. Catalog of HIWIN company for the production of linear guides.
11. Catalog of HIWIN company for the production of ball drives.
12. Grubiy SV, Lapshin VV. Study of cutting properties of boron nitride cutters. *Science and Education*. 2012;6:5. DOI 10.7463/0612.0423622.
13. Belkov VN. B44 Fundamentals of calculation and design of screw mechanisms: textbook. Omsk: Publishing house of OmSTU; 2008.

Информация об авторе:

Федуков Александр Григорьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Брянского государственного технического университета, тел. 8-906 502 59 67; Author-ID-РИНЦ 1134724; Scopus Author ID: 57201771898; ResearcherID Web of Science: GPX-1698-2022.

Fedukov Aleksandr Grigoryevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Bryansk State Technical University; phone: 8-906-502-59-67; author-RSCI code 1134724; Scopus Author ID: 57201771898; ResearcherID Web of Science: GPX-1698-2022.

**Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.**

Статья поступила в редакцию 30.09.2024; одобрена после рецензирования 14.10.2024; принята к публикации 28.10.2024. Рецензент – Янюшкин А.С., доктор технических наук, профессор Чебоксарского государственного университета им. И.Н. Ульянова, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 30.09.2024; approved after review on 14.10.2024; accepted for publication on 28.10.2024. The reviewer is Yanushkin A.S., Doctor of Technical Sciences, Professor of Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.