

УДК 621.9.01

И.Э. ЯКОВЕНКО, А. А. ПЕРМЯКОВ

**РАНЖИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПОНОВОК АГРЕГАТИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ БЛОКОВ**

Розглянуто питання вибору силових агрегатів для реалізації технологічних компонок інструментальних блоків для агрегатованого обладнання з метою формалізації процесу проектування спеціального обладнання. Дослідження використовує геометричні та енергетичні параметри уніфікованих силових вузлів різних конструкцій і варіантів забезпечення кінематики основного і допоміжного руху різання. Запропоновано математичну модель у вигляді послідовності спрямованого перебору варіантів конструкторської реалізації технологічних компонок інструментальних блоків.

**Ключові слова:** технологічна компоновка, інструментальний блок, агрегатний обладнання, силовий агрегат.

Рассмотрены вопросы выбора силовых агрегатов для реализации технологических компонок инструментальных блоков для агрегатированного оборудования с целью формализации процесса проектирования специального оборудования. Исследование затрагивает геометрические и энергетические параметры унифицированных силовых узлов различных конструкций и вариантов обеспечения кинематики основного и вспомогательного движения резания. Предложена укрупненная математическая модель в виде последовательности направленного перебора вариантов конструкторской реализации технологических компонок инструментальных блоков.

**Ключевые слова:** технологическая компоновка, инструментальный блок, агрегатное оборудование, силовой агрегат.

The questions of a choice of power units for realization of technological layouts of tool blocks for the aggregated equipment with the purpose of formalization of process of designing of the special equipment are considered. The study touches upon the geometric and energy parameters of unified power units of various designs and variants of providing the kinematics of the main and auxiliary cutting motion. During the research, the existing practice of designing equipment of this class and statistical studies of previously produced machines were used. An enlarged mathematical model is proposed in the form of a sequence of directed enumeration of variants of the design realization of technological layouts of instrumental blocks.

**Keywords:** Technological layout, instrument block, aggregate equipment, power unit.

**Введение.** В процессе обработки на агрегатированном оборудовании (АО) одной из наиболее актуальных задач является автоматизация выбора оптимального варианта технологической компоновки станка на ранних стадиях процесса проектирования, что в последующем в совокупности с параметрической оптимизацией позволит сократить технологическую себестоимость выпуска изделия. Многообразие номенклатуры и геометрических форм деталей, обрабатываемых на агрегатированном оборудовании обуславливает множество конструктивных и компоновочных решений. Наиболее характерной для этого класса оборудования является обработка концевым мерным инструментом внутренних цилиндрических (47%), конических (27% с учетом фасок) и резьбовых поверхностей (21%) со среднестатистическим числом обрабатываемых поверхностей  $K_{пв}=9,4$  и числом сторон обработки  $K_{со}=2,4$ . Такое многообразие обрабатываемых поверхностей предполагает очень большое количество вариантов технологических компонок АО. Это определяет ряд характерных особенностей компоновочного, конструкторского, кинематического, инструментального плана. Просмотр всех технически реализуемых вариантов структур технологической компоновки практически невозможен. Поэтому необходимо установить и классифицировать основные факторы, влияющие на последующую техническую реализацию, что даст возможность ранжировать эти варианты по перспективности использования с точки зрения критерия оптимальности еще на ранних стадиях проектирования.

**Анализ исследований и литературы.** Вопросам проектирования технологических компонок уделялось большое внимание. Так в [1] рассмотрены общие вопросы проектирования технологических компонок агрегатных станков. В работе [2] детально рассматривались компоновочные решения инструмен-

тальных блоков для токарной обработки с точки зрения, как структурной, так и параметрической оптимизации. Особенно это относится к учету факторов, которые определяются структурной компоновкой инструментального блока (длины резания инструмента и длины рабочих ходов инструментального блока, требуемый такт выпуска и др.), при назначении параметров резания для каждого инструмента. В работах [3-4] детально рассмотрены и сгруппированы факторы, оказывающие влияние на перспективность использования технологической компоновки инструментального блока и многопозиционного станка в целом. В зависимости от степени влияния этих факторов предложены принципы ранжирования вариантов технологических компонок с точки зрения последующей конструкторской реализации. Однако рассматриваются только общие компоновочные факторы, которые не учитывают геометрические и силовые характеристики конструкций унифицированных силовых агрегатов.

**Целью** данной статьи является выявление и исследование факторов, влияющих на ранжирование возможных вариантов технологических компонок инструментальных блоков при обработке концевым инструментом на агрегатированном оборудовании на ранних стадиях проектирования.

**Постановка проблемы.** Автоматизация проектирования специализированного агрегатированного оборудования выдвигает требование формализации процесса выбора возможных вариантов последующей конструкторской реализации, что позволяет осуществить структурно-параметрическую оптимизацию АО в целом. Рассматриваемые методики проектирования АО основаны на субъективном опыте конструкторов, слабо формализованы и не могут быть использованы в системах автоматизированного проектирования.

© И.Э. Яковенко, А. А. Пермяков, 2017

**Матеріали досліджень.** В качестве объекта исследования был рассмотрен процесс проектирования инструментальных наладок агрегатированного оборудования на базе унифицированных силовых узлов различной кинематики, конфигурации и геометрических параметров. Процесс разработки вариантов технологической компоновки обработки детали на АО не входит в круг исследований данной статьи. Варианты объединения инструментов в блоки используются в качестве исходной информации.

**Ранжирование технически реализуемых вариантов ТК инструментальных блоков в процессе поиска рационального решения.** Ранжирование вариантов структур технологических компоновок заключается в оценке различных условий процесса резания и эксплуатации АО, соответствие которым с большей вероятностью может обеспечить оптимальное значение выбранного целевого функционала. Такое ранжирование осуществляется на основании анализа составляющих критерия оптимальности, типовых проектных решений, закономерностей технологии машиностроения и экспериментальных исследований.

Максимальная концентрация инструментов в блоки сокращает количество используемых силовых агрегатов и позиций обработки, минимизирует площадь оборудования и т.д. Из вариантов, равнозначных с точки зрения концентрации операций, более предпочтительным является тот, в инструментальном блоке которого объединены инструменты, принадлежащие одному комплекту, под которым понимается совокупность режущих инструментов, имеющих одинаковую конфигурацию и обрабатывающих поверхности (элементарные или соосные) с одинаковыми размерами и качественными характеристиками. При объединении в блоке инструментов разных комплектов предпочтение отдается варианту с инструментами одного типа. В этих случаях необходимо учитывать значение допуска на межосевое расстояние: чем он меньше, тем перспективнее рассматриваемый вариант. При высокой точности межосевого расстояния между обрабатываемыми поверхностями объединение инструментов в один инструментальный блок обязательно, и поэтому данная характеристика ранжирования рассматривается при синтезе вариантов технологической компоновки, как ограничивающий фактор.

В случае объединения инструментов различных типов наиболее перспективным является вариант, в котором точность получаемых поверхностей одинакова или незначительно отличается. Такое условие характеризует качественные параметры АО и позволяет снижать возможные трудозатраты, связанные с наладкой, а в дальнейшем и с эксплуатацией оборудования, особенно повышенной точности.

Рассмотренные условия позволяют организовать последовательность анализа вариантов компоновки инструментальных блоков в процессе параметрической оптимизации и последующей конструкторской реализации. Однако достаточно широкий спектр типоразмеров силовых агрегатов требует еще на ранних стадиях проектирования учитывать такие характеристики, как типы циклограмм движения, длина рабоче-

го хода узла, допустимые энергетические нагрузки. Поэтому в процессе выбора конкретных типоразмеров силовых узлов необходимо сопоставлять суммарные характеристики инструментального блока с геометрическими и силовыми характеристиками силового агрегата. Причем, в процессе выбора силовых узлов допустимо манипулировать только силовыми характеристиками за счет изменения режимов резания инструментов, входящих в рассматриваемый инструментальный блок без изменения структуры рассматриваемого варианта компоновки. Так как типоразмеры выбранных силовых агрегатов оказывают существенное влияние на значение целевого функционала рассмотрим более подробно выбор силовых агрегатов по допускаемым нагрузкам при выполнении прочих ограничений.

Крутящий момент на выходном валу силовой головки или редуктора коробки во многом определяется конструкцией многшпindleльной насадки или коробки и, как показали исследования, практически всегда меньше допустимого по техническим характеристиками, поэтому выбор силового узла осуществляется по допустимому осевому усилию с проверкой по крутящему моменту и максимальной величине хода силового узла. Выбор габарита (типоразмера) силового узла осуществляется на основании суммарных осевых нагрузок (в зависимости от типа циклограммы) по условию

$$\sum_{jk=1}^{jk} P_{ocjk} \leq [P_{доп.м}] \quad (1)$$

где  $[P_{доп.м}]$  – допускаемое усилие для силового узла  $m$ -го габарита, Н;

$P_{ocjk}$  – осевое усилие резание  $j$ -го инструмента  $k$ -го силового блока, Н.

В этом случае коэффициент использования силового агрегата по допускаемому усилию

$$\rho_k = \frac{\sum_{jk=1}^{jk} P_{ocjk}}{[P_{доп.м}]}, \quad (2)$$

где  $\rho_k$  коэффициент использования по допускаемому усилию.

Суммарная осевая нагрузка инструментального блока рассматриваемого варианта технологической компоновки определяется для момента времени, когда все инструменты блока производят обработку, что соответствует принципу достижения максимальной производительности обработки на каждой позиции (т.е. осуществляется параллельная обработка всех поверхностей).

В случае невыполнения условия для рассматриваемого варианта инструментального блока возможны различные варианты решения. Наиболее простым из них является переход к следующему габариту силового узла, что во многих случаях невозможно по конструктивным соображениям: не реализуется конструкторская компоновка всего станка в целом, невыполнима расчетная циклограмма движения и др. С другой стороны, даже когда выбор узла следующего габарита возможен, такое решение не всегда прием-

лемо, так как ведет к повышению стоимости станка и снижению его эффективности, а в некоторых случаях практически неосуществимо. Изменение технологической компоновки АО (дифференциация обработки по разным позициям или введение дополнительных позиций), может иметь те же последствия.

Остальные способы связаны с уменьшением осевого усилия, возникающего в процессе резания. Изменение геометрии инструмента (в основном это касается сверл) позволяет сократить осевое усилие до 30% и является наиболее простым способом корректировки варианта. При этом каждой форме заточки или геометрии режущего клина соответствует определенный коэффициент снижения осевого усилия  $K_p$  по сравнению с условиями, принятыми при расчете для стандартного инструмента. Однако в этом случае возрастают затраты, связанные с переточкой инструмента.

Для тех вариантов, когда

$$P_k \leq \frac{1}{\min\{K_{pjk}\}} \quad (3)$$

где  $\min\{K_{pjk}\}$  – минимально возможный коэффициент снижения осевого усилия, обусловленного геометрией режущего инструмента.

Наиболее целесообразно рассматривать инструменты или группы инструментов с максимальными значениями  $P_k$ . Эти значения соответствуют максимальному диаметру инструмента, для которого наиболее просто осуществить оптимизацию геометрических параметров. В противном случае изменение геометрии осуществляется совместно с другими мероприятиями для всех инструментов, входящих в силовой агрегат (для которых это целесообразно и возможно). Однако очень часто такая оптимизация невозможна из-за организации производства на заводе-заказчике станка, либо по каким-то другим причинам.

Снижение осевого усилия достигается также за счет организации параллельно-последовательной или последовательной обработки. Такая обработка возможна при формировании открытых поверхностей (обработка "на проход") и отсутствии ограничений на дополнительный выход инструмента, что в то же время усложняет конструкцию комбинированного инструмента, если он применяется, и увеличивает время обработки, то есть снижает эффективность использования инструмента на лимитирующих позициях.

Наиболее часто на практике применяется метод снижения осевого усилия за счет изменения режимов резания (уменьшения подачи инструмента). Рассмотрим его более подробно. На агрегатированном оборудовании 90% многошпиндельной обработки составляет обработка однотипным инструментом, а комбинированный инструмент обычно также представляет собой совокупность нескольких участков инструмента одного типа (ступенчатые сверла, зенкер, развертка и др.). Очевидно, что минутная подача однотипных инструментов различного диаметра определяется минутной подачей инструментального блока, которая определяется условиями обработки заготовки. Это особенно характерно для операций сверления, которые являются наиболее энергоемкими для концевой

обработки и позволяет легко реализовать многоинструментную обработку при невыполнении условия (1). Таким образом, можно откорректировать значения подач инструментов, входящих в инструментальный блок, так, чтобы условие выполнялось, а повышение себестоимости обработки, связанное со снижением подачи инструментов в блоке, было минимальным. Выбор окончательных значений режимов обработки инструментов в блоке производится в процессе параметрической оптимизации (естественно с учетом параметров установленных на этапе просмотра и ранжирования вариантов структур инструментальных блоков) и не является целью исследования данной статьи.

Для каждого инструмента в суммарном осевом усилии нагружающем силовой агрегат, с учетом его влияния на производительность, по отношению к принятому в качестве базового инструмента, имеющему минимальное осевое усилие, определяется как

$$\sigma_{jk} = \left( \frac{P_{ocjk}}{P_{\delta jk}} \right)^{K_{\delta pjk}} \cdot \left( \frac{t_{pjk\delta}}{t_{pjk}} \right)^{\mu_{jk}}, \quad (4)$$

$$P_{\delta jk} = \min\{P_{ocjk}\} \quad \forall j_k \in J_k, \quad (5)$$

где  $P_{\delta jk}, P_{ocjk}$  – осевое усилие базового и  $j_k$ -го инструментов соответственно, Н;

$t_{\delta jk}, t_{pjk}$  – время резания базового и  $j_k$ -го инструментов без учета объединения в силовой агрегат соответственно, мин;

$\mu_{jk}$  – поправочный коэффициент учитывающий влияние скорости резания на стойкость  $j_k$ -го инструмента;

$K_{\delta pjk}$  – поправочный коэффициент, учитывающий вид обработки (тип режущего инструмента) по отношению к базовому.

В качестве примера в таблице 1 приведены поправочные коэффициенты  $K_{\delta pjk}$  для различных видов обработки, полученные эмпирически на основании анализа вариантов объединения различных видов концевых инструментов из быстрорежущей стали в один инструментальный блок.

Таблица 1  
Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние типов инструментов в инструментальном блоке.

№	Инструмент	1	2	3	4
1	Сверло	1	1,07	1,07	0,7
2	Зенкер	0,93	1	1	0,65
3	Зенковка	0,93	1	1	0,65
4	Цековка	1,4	1,45	1,45	1

Допустимое осевое усилие, которое приходится на  $j_k$ -ый инструмент, для конкретного силового агрегата определяется как

$$[P_{ocjk}] = \frac{P_{доп,м}}{\sum_{j_k=1}^{J_k} \sigma_{jk}} \cdot \sigma_{jk} \quad (6)$$

В этом случае может возникнуть ситуация, когда  $[P_{ocjk}] > P_{ocjk}$ , что указывает на целесообразность более интенсивной подачи рассматриваемого инстру-

мента. Однако, исходя из принципа назначения для каждого инструмента максимально допустимой подачи, такая интенсификация невозможна и, следовательно, принимается  $[P_{ocjk}] = P_{ocjk}$ . Тогда, новое откорректированное по допустимому осевому усилию значение подачи инструмента

$$S_{новjk} = S_{jk} \left( \frac{[P_{ocjk}]}{P_{ocjk}} \right)^{\frac{1}{y_{jk}}}, \quad (7)$$

где  $y_{jk}$  – коэффициент, учитывающий значение подачи при расчете осевого усилия при обработке концевым инструментом.

При этом должно выполняться условие

$$S_{новjk} \geq \min\{[S_{техjk}]\}, \forall jk \in J_k. \quad (8)$$

В противном случае

$$S_{новjk} = \min\{[S_{техjk}]\}, \quad (9)$$

что практически не встречается.

Помимо ограничения на допускаемое осевое усилие по использованию силового агрегата для реализации технологической компоновки инструментального блока необходимо рассматривать и другие ограничивающие факторы. В качестве ограничения на применение силового узла используется также возможность реализации типа циклограммы движения инструмента или блока, число инструментов в блоке и, в конечном итоге, требования заказчика. Для силовых столов характерно применение бабок или коробок соответствующего типоразмера, у которых параметрический ряд допустимых нагрузок соответствует аналогичному ряду силовых столов, что позволяет выбирать (предварительно) и унифицированный узел технологического оснащения.

Изложенный выше подход выбора силовых узлов для реализации технологической компоновки инструментального блока ориентирован на реализацию в системе автоматизированного проектирования и может быть представлен в виде укрупненного алгоритма, состоящего из следующих этапов.

Первоначально (предпочтительнее в диалоговом режиме), в зависимости от конструкторских ограничений по используемому классу силового узла АО (табл. 2), устанавливается признак допустимости к дальнейшему рассмотрению того или иного типа силовых узлов.

Таблица 2

Классификация возможности использования силовых агрегатов при реализации технологической компоновки инструментального блока.

Тип силового агрегата	Код
Все типы агрегатов	0
Только механические	1
Только гидравлические	2
Только силовые головки	3
Только электромеханические столы	4
Силовые столы без уточнения	5

Возможность применения различных методов подбора силовых агрегатов для реализации технологической компоновки инструментального блока, обеспечивающих выполнение условия (1) приведена в таблице 3.

Таблица 3

Методы оптимизации суммарной нагрузки инструментального блока по допустимым значениям силового агрегата.

Признак	Код
П1	Переход к следующему типоразмеру
П2	Оптимизация геометрии инструмента
П3	Реализация последовательной обработки
П4	Корректировка подачи инструмента
П5	Изменение технологической компоновки

Признаки П1-П5 принимают два значения: 0 – если реализация соответствующего метода невозможна, 1 – реализация возможна.

Последовательность рассмотрения силовых узлов, способных обеспечить нормальную работу инструментального блока с учетом всех указанных ограничений, осуществляется по принципу наиболее целесообразного использования узлов минимальных габаритов и стоимости (при выполнении ограничивающих факторов).

При невыполнении условий (1) или (3) выбора силового агрегата к рассмотрению принимаются комбинации указанных выше методов, естественно при возможности их технической реализации (табл. 4).

Таблица 4

Методы оптимизации суммарной нагрузки инструментального блока по коэффициенту использования силового агрегата по осевой нагрузке.

Диапазон		Комбинация методов в порядке предпочтительности
от	до	
1,0	1,12	П1; П2; П3
1,12	1,26	П1; П2; П4; П3
1,26	1,57	П1; П3; П2&П4; П4
1,57	2	П3; П1&П2; П1&П4; П5
2	2,5	П3&П2; П3&П1; П3&П4; П1&П4; П5
2,5	4,0	П3&П1&П4; П5
4,0	6,3	П5

После выполнения соответствующих предложенному методу операций и изменения характеристик инструментального блока, осуществляется повторная проверка. Признаки методов П2 и П3, если они использовались, автоматически помечаются, как невыполнимые при дальнейших расчетах в том случае, когда условие не выполняется повторно. Однако такие случаи в нашей практике не встречались. Выполнение условия (1) означает, что рассматриваемый силовой узел удовлетворяет нас по прочностным характеристикам, и все его параметры используются при дальнейшем проектировании.

В тех случаях, когда выполнение условия (1) возможно только за счет изменения технологической компоновки, данный вариант отклоняется и рассматривается следующий по предпочтительности с другой структурой инструментального блока.

Для одношпindelной обработки выбранный силовой узел проверяется по условию обеспечения необходимой мощности резания (с учетом к.п.д.) и допускаемого крутящего момента. При многшпindelной обработке такая проверка нецелесообразна, так как нагрузочные характеристики на ведущем валу зависят от конструкции и передаточного отношения многшпindelной насадки или коробки.

**Проверка силовых узлов по величине хода и определение основных настроечных размеров инструментального блока.** Выбранные по критерию допускаемого усилия силовые узлы необходимо, независимо от числа шпindelей в инструментальном блоке, проверить на возможность обеспечения общей длины хода блока. Общая величина хода блока включает в себя длину рабочего хода, величину быстрого подвода-отвода в исходное положение (для поворота делительного стола или снятия детали) и дополнительного отвода силового узла для смены инструмента. Минимальная величина хода, необходимая для обеспечения нормальной работы инструментального блока, определяется величиной заделки патрона в шпindelе, размерами зоны обработки и направления инструмента. На АО широкое распространение получили все основные схемы направления инструмента используемые в машиностроении: непосредственно по профилю режущей части в кондукторных втулках (заднее направление), по дополнительному участку режущего инструмента в кондукторной втулке или по полученной ранее соосной поверхности меньшего диаметра («переднее» направление). Конструкция и параметры патронов, применяемых для данного класса оборудования, унифицированы для различного типа инструментов. Причем крепление режущего инструмента с коническим хвостовиком осуществляется непосредственно в патроне, а с цилиндрическим хвостовиком (сверла, зенкеры, развертка и др.) - при помощи унифицированных цапг, закрепляемых в патроне или специализированных быстросменных патронов.

Анализ размерной цепи при установке инструмента для различных схем обработки позволил разработать последовательность предварительного выбора стандартного инструмента и определения длин участков резания оригинального инструмента, определения параметров патрона и, следовательно, его исполнения, а также максимально возможной длины регулирования вылета инструмента при его переточке. Каждый шаг данной последовательности направлен на получение параметров конкретного типа инструмента и патрона.

Рассмотрим последовательность осуществления проверки выбранного силового агрегата с точки зрения возможности использования в случае концевой обработки сверлами, зенкерами, развертками и другим аналогичным инструментом.

Первоначально, исходя из возможности применения того или иного типоразмера инструмента, определяется способ его крепления (патрон или цапга). Для инструмента с цилиндрическим хвостовиком выбирается цапга и номер конуса Морзе патрона, в котором цапга будет закреплена, а для инструментов с коническим хвостовиком - непосредственно номер

конуса Морзе патрона. Рассчитывается минимально необходимая длина режущей части инструмента и по ней выбирается стандартный инструмент с учетом возможности применения того или иного стандарта. Для оригинального инструмента рассчитывается его минимальная длина по длине режущей части, длине хвостовика и технологическому размеру, которая в дальнейших расчетах используется, как длина инструмента, однако при его окончательном проектировании может быть изменена в определенных пределах с учетом выбранного вспомогательного инструмента (патрона). Далее для инструмента, имеющего максимальную длину, выбирается патрон (по конусу Морзе инструмента), имеющий минимальную величину вылета от торца шпindelа, и рассчитывается основной настроечный размер инструментального блока. Полученный основной настроечный размер позволит определить по расчетному значению вылета патрона от торца шпindelа исполнение патрона и, следовательно, все необходимые для дальнейшего расчета параметры.

На основании полученного значения минимально необходимой величины быстрого отвода и общего хода проверяется возможность использования агрегата, выбранного в соответствии с таблицей 2 типа силового агрегата, соответствующего условиям допустимых силовых нагрузок для рассматриваемого инструментального блока.

$$L_{\text{xx}} < [L_x]_k, \quad (10)$$

где  $L_{\text{xx}}$  - расчетная величина хода  $k$ -го инструментального блока с учетом величины рабочего хода и быстрого отвода, мм;

$[L_x]_k$  - допустимая величина хода  $k$ -го силового агрегата, мм.

Если условие не выполняется, выбранный силовой узел не может обеспечить нормальную работу рассматриваемого инструментального блока необходимо выбрать силовой узел, обеспечивающий условие (10). В противном случае данный вариант технологической компоновки инструментального блока отклоняется и к рассмотрению принимается следующий из наиболее перспективных вариантов, у которого инструменты, имеющие максимальную и минимальную длины рабочих ходов, разнесены в разные инструментальные блоки.

Очевидно, что данный расчет настроечных размеров является предварительным, так как на ранних стадиях проектирования нет детальной проработки приспособления и других узлов, и размеры, связанные с этими элементами, рекомендуются на основании статистического анализа соответствующих конструкций уже выпущенного оборудования. Это неизбежно ведет к уточнению и изменению некоторых параметров на последующих стадиях проектирования, однако такая предварительная оценка необходима, чтобы отбросить заведомо нереализуемые варианты.

**Выводы.** На основе анализа технологических компоновок инструментальных блоков, геометрических параметров инструментов и структурно-параметрических характеристик силовых агрегатов предложена машинно-ориентированная методика выбора

силовых агрегатов, способных реализовать технологическую компоновку и параметрические характеристики инструментального блока, которая основана на минимизации стоимости силовых узлов и соответствии их всем ограничениям, связанным как с эксплуатационными, так и организационными факторами. Установлены основные закономерности, позволяющие снижать за счет уменьшения подачи инструментального блока суммарные нагрузки инструментального блока при обработке однотипными инструментами и инструментами различного класса с минимальной потерей производительности рассматриваемого блока. Разработана методика предварительного определения основных настроечных размеров инструментов, образующих инструментальный блок, и параметров инструментов, необходимых для расчета критерия оптимальности. Уточнение всех настроечных параметров осуществляется в процессе разработки конструкторской компоновки.

Это позволило создать основы для направленного структурно-параметрического синтеза рационального варианта общей технологической компоновки АО, учитывающего как структурные, так и параметрические характеристики, и возможности их оптимизации в каждом конкретном случае для всех инструментальных блоков. Данная методика может быть использована как при проектировании нового оборудования, так и при модернизации ранее выпущенных станков.

#### Список літератури

1. Фролов К.В. Машиностроение. Энциклопедия в сорока томах. Том IV-7. М.: Машиностроение, 2002. - 864с.

#### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Ранжування технологічних компонок агрегатованого обладнання на базі інструментальних блоків / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 99–104. – Библиогр.: 4 назв. – ISSN 2079-004X.**

**Ранжирование технологических компонок агрегатированного оборудования на базе инструментальных блоков / И.Э. Яковенко, О.А. Пермяков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 26 (1248). – С. 99–104. – Библиогр.: 4 назв. – ISSN 2079-004X.**

**Ranking of technological layouts of the aggregated equipment on the basis of tool blocks / I. Yakovenko, A. Permyakov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 26 (1248). – P.99–104. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2079-004X**

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Яковенко Ігор Едуардович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» НТУ «ХПІ», Харків; тел.: (057) 720-66-25; e-mail: igor.dych59@gmail.com;

**Яковенко Игорь Эдуардович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения и металлорежущие станки» НТУ «ХПІ», Харьков; тел.: (057) 720-66-25; e-mail: igor.dych59@gmail.com;

**Yakovenko Igor Eduardovich.** - Candidate of Technical Sciences, PhD, Associate Professor of the Department "Technology of mechanical engineering and metal-cutting machines" NTU "KhPI", Kharkiv; tel.: (057) 720-66-25; e-mail: igor.dych59@gmail.com;

**Пермяков Олександр Анатольович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Технологія машинобудування та металорізальні верстати» НТУ «ХПІ», Харків; тел.: (057) 720-66-25; e-mail: perm\_a@i.ua;

**Пермяков Александр Анатольович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения и металлорежущих станков» НТУ «ХПІ», Харьков; тел.: (057) 720-66-25; e-mail: perm\_a@i.ua;

**Permyakov Alexandr Anatolievich** – Doctor of Technical Sciences, Full PhD, Professor, Head of the Department "Technology of mechanical engineering and metal-cutting machines" NTU "KhPI", Kharkiv; tel.: (057) 720-66-25; e-mail: perm\_a@i.ua.

2. Автоматизированное проектирование оптимальных наладок металлорежущих станков. / А.М. Гильман, Г.В. Гостев, Ю.Б. Егоров и др. М.: Машиностроение, 1984. - 168с.
3. Яковенко И.Э., Яковенко Е.И. Синтез структур многоинструментальных блоков при обработке концевым инструментом. // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт». - Харьков: НТУ «ХПИ». - 2010. - Вып.40. - С.252-257.
4. Тимофеев Ю.В., Пермяков А.А., Приходько О.Ю., Яковенко И.Э. Принципы оптимизации компонок агрегатных станков. // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Сборник научных трудов ХГПУ. - Харьков: ХГПУ. - 1997. - С.351-354.

#### Bibliography (transliterated)

1. Frolov K.V. *Mashinostroenie. Entsiklopediya v soroka tomah.* [Mechanical engineering. Encyclopedia]. Tom IV-7. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2002. 864p.
2. *Avtomatizirovannoe proektirovanie optimalnykh naladok metallorezhuschih stankov.* [Automated design of optimal settings for metal cutting machines]. A.M. Gilman, G.V. Gostev, Yu.B. Egorov i dr. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984. 168p.
3. Yakovenko I.E., Yakovenko E.I. *Sintez struktur mnogoinstrumentalnihykh blokov pri obrabotke kontsevim instrumentom.* [Synthesis of structures of multi-tool blocks during processing with a tool end]. Vestnik natsionalnogo tehniceskogo universiteta «Harkovskiy politehnicheskii institut». – Kharkov, NTU “HPI” Publ. - 2010. - Vyip.40. - P.252-257.
4. Timofeev Yu.V., Permyakov A.A., Prihodko O.Yu., Yakovenko I.E. *Printsipy optimizatsii komponovok agregatnykh stankov.* [Principles of optimization of assemblies of aggregate machines]. Informatsionnyie tehnologii: nauka, tehnika, tehnologiya, obrazovanie, zdorove. Sbornik nauchnykh trudov HGPU. – Kharkov, HGPU Publ. - 1997. - P.351-354.

Поступила (received) 05.06.2017