

# Информационные технологии, моделирование и управление

---

УДК 621.867.229.6

Профессор И.А. Авцинов, профессор В.К. Битюков,  
аспирант Д.Ю. Маликов  
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра информационных и управляющих систем.  
тел. (473) 255–38–75

доцент А.Л. Ивашин  
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра информационных технологий моделирования  
и управления, тел. (473) 255–25–50  
E-mail: levden9@mail.ru

Professor I.A. Avtsinov, professor V.K. Bitjukov,  
graduate D. Yu. Malikov  
(Voronezh state university of engineering technologies) Department of information and control  
systems. phone (473) 255–38–75

associate professor A.L. Ivashin  
(Voronezh state university of engineering technologies) Department of information technolo-  
gies of modeling and management. phone (473) 255–25–50  
E-mail: levden9@mail.ru

## Основы структурной типологизации конструирования устройств с газовой несущей прослойкой

### Fundamentals of structural typology device design with a gas bearing layer

*Реферат.* Описаны характерные этапы структурной типологизации устройств, позволяющей их качественно конструировать в автоматическом режиме по известным параметрам изделий (деталей) и требуемой технологической операцией с ними. На первом этапе были организованы классификации как штучных специфических изделий, так и устройств для манипулирования последними. Специфика изделий описывается их физико-механическими свойствами, геометрическими параметрами и областью их применения. Наиболее часто описанные специфические изделия используются в фармацевтической, парфюмерной, пищевой промышленности, микроэлектронике, радиотехнике, электронике. Основным элементом предлагаемых устройств является несущая рабочая поверхность, над которой создается газовая тонкая прослойка. В зависимости от расположения (горизонтальное или вертикальное) вида её движения (вращательное, вращательно – поступательное) или его неподвижности, а также конфигурации несущей рабочей поверхности реализуются различные технологические операции (ориентирование, позиционирование, формование, классификация, транспортировка, термообработка, контроль массы, сборка, выбраковка и другие). На втором этапе удалось математически описать взаимосвязь специфики штучных изделий с конструктивными особенностями несущей рабочей поверхности устройств и реализуемыми на них операциями. С этой целью был использован аппарат дискретной математики, с помощью которого можно произвести описание всех типов устройств, а затем производить вывод типа рабочей поверхности, удовлетворяющей заданным требованиям. Несомненным достоинством использования логики предикатов для данной задачи является достаточно простая реализация алгоритма структурной типологизации, которая может быть выражена с использованием декларативного языка программирования. По третьему этапу ведутся работы, необходимые для создания алгоритмической программы на языке «Prolog», и представлены структуры императивной и декларативной реализации алгоритма.

*Summary.* We describe the typical stages of a structural typology of devices allowing them to design quality in the automatic mode on the known parameters of products (parts) and the required processing operations with them. In the first stage classification it was organized as a piece of specific products and devices for the manipulation of the latter. Specifics items described their physical – mechanical properties, geometry and their application. The most frequently described specific products are used in pharmaceutical, perfume, food, microelectronics, electrical engineering, electronics. The main elements of the proposed device is a carrier working surface over which a thin layer of gas is created. Depending on the position (horizontal or vertical) of the form of its movement (rotation, rotational – translational) or is stationary, and the configuration of the carrier operating the surface implement various manufacturing operations (targeting, positioning, shaping, classification, transport, heat treatment, weight control, assembly, culling, and others). The second stage was to mathematically describe the relationship of the specificity of piece goods, with design features of devices supporting the work surface and sold them operations. For this purpose, the device has been used in discrete mathematics, with which you can produce a description of all types of devices, and then make a conclusion such as the work surface meets the specified requirements. The apparent advantage of using predicate logic in this problem is fairly simple implementation of the algorithm of structural typology, which can be expressed using a declarative programming language. In the third phase, work is underway to create the necessary algorithmic language program "Prolog" and presented the structure of the imperative and declarative implementation of the algorithm.

*Ключевые слова:* этапы структурной типологизации изделий, устройств; математическое описание систем; манипулирование, алгоритмы программирования.

*Keywords:* stages of structural typology of products, devices; mathematical description of systems; manipulation; algorithms of programming.

---

© Авцинов И.А., Битюков В.К.,  
Маликов Д.Ю., Ивашин А.Л., 2015

Анализ штучных мелких специфических изделий [1] различных отраслей промышленности и конструкций устройств для их манипулирования [2] позволил организовать их классификации, соответственно (рисунки 1 и 2).

Данные классификаций представляют собой первый этап структурной типологизации конструирования устройств с газовой несущей прослойкой.

На втором этапе структурной типологизации удалось объединить (найти закономерности) характерную специфику описанных изделий с конструктивными особенностями устройств и реализуемыми на последних стадиях операциями. Основные результаты представлены ниже в табличном виде. Описанные в таблице 1 устройства защищены авторскими свидетельствами и патентами (таблица 2).

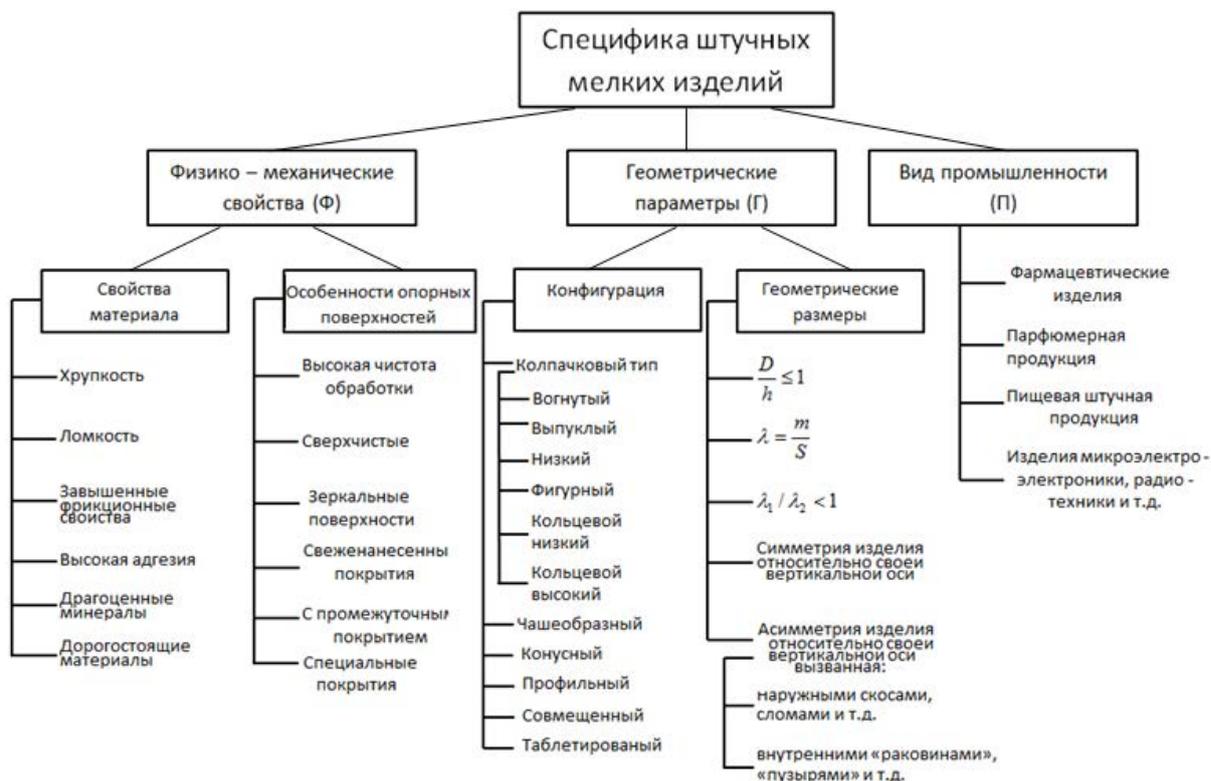


Рисунок 1. Классификационные признаки штучных специфических изделий

Буквенное обозначение:

$D$  – диаметр (ширина) изделия

$h$  – высота изделия

$m$  – масса изделия

$\lambda$  – удельная нагрузка изделия на газовую прослойку (критерий распознавания)

$\lambda_2$  – удельная нагрузка изделия, расположенной большей опорной поверхностью к газовой прослойке

$S$  – площадь опорной поверхности

$\lambda_1$  – удельная нагрузка изделия, расположенной меньшей опорной поверхностью к газовой прослойке

Информационная система, позволяющая осуществлять выбор или проектирование оборудования, которое сможет с достаточной оптимальностью осуществлять манипулирование специфическими изделиями, нуждается в тезаурусе. Терминологический смысл и семантика языка системы должны полно отражать предметную область, связанные с описанием, как оборудования, так и специфики изделий. Наилучшим вариантом в данной ситуации является выбор универсального

описательного аппарата, который может быть однозначно и эффективно интерпретироваться и человеком (специалистом, лицом, принимающим решение) и машиной (исполнителем алгоритмов информационной системы). Таким языком может стать математический аппарат.

Задачу описания некоторой классификации может с успехом решаться посредством дискретной математики, конкретнее, например, аппаратами реляционной алгебры, логикой предикатов и теорией графов.

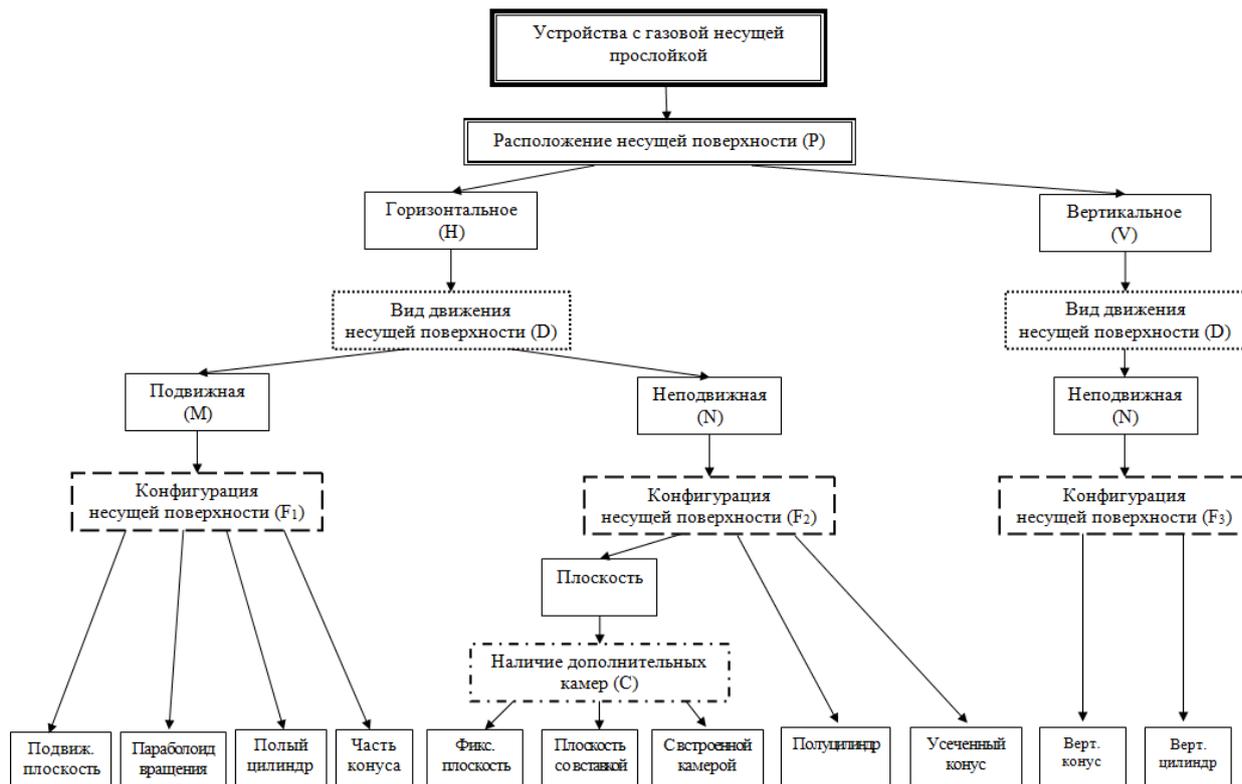


Рисунок 2. Классификационные признаки устройств с газовой несущей прослойкой

Первый из них достаточно многословен для описания иерархий, представленных, например, на рисунке 2, а язык описания графов хоть и хорошо подходит для данной задачи, но имеет неочевидный синтаксис текстового описания. В то время как база плоских правил может быть достаточно просто записана и изменена по необходимости. Поэтому наилучшим выбором, безусловно, является язык исчисления предикатов, так как он позволит не только создать базу необходимых существенных характеристик оборудования и изделий, но и сделать это достаточно просто, а также получить возможность осуществлять логические выводы. Адаптируем язык логики предикатов к решаемой задаче. Выберем наименование термов, которые будут описывать особенности изделия, например, для описания хрупкости выберем  $F(\text{fragility})$ , для описания чистоты обработки  $P(\text{purity})$  и т. д. полное описание приведено в разделе обозначения кода изделия (таблица 1).

Использование логики предикатов требует наличия субъекта и предиката. Субъектом, в рамках предметной области, является то, о чем делается высказывание, а предикатом будет непосредственно смысл высказывания. Также необходимо задать множество истинностных

значений  $V$ , в рассматриваемом случае можно воспользоваться классическим множеством, состоящим из двух элементов: "нуль" и "единица" или "истина" и "ложь", но оставить потенциальную возможность его расширить. Также, выберем некоторое объектное множество  $D$ , которое может быть множеством оборудования, рабочих поверхностей или специфических изделий. В этой ситуации  $n$ -местным ( $n$ -арным) предикатом будет являться функция из  $V$  в  $D$ . Кроме того, используются следующие дополнительные символы: переменные, пропозициональные связки и кванторы всеобщности и существования. Перечисленное будет являться алфавитом языка, на котором могут быть записаны все необходимые конструкции языка.

Теперь предикат для описания особенностей рабочей поверхности или требований к специфике обработки изделий может быть записан:

$$specialty(D1, hardness, purity, symmetry) \quad (1)$$

Приведенную выше классификацию типовых систем манипуляции (таблица 1) можно описать линейно на основе теоретико-множественной нотации и в терминах предикатов (описание специализации). Терминология

(наименование предикатов их порядок и арность) сквозная, будет в дальнейшем использоваться для декларативного описания программной системы. Здесь используются следующие обозначения: множество всех расположений несущей поверхности  $P$  ( $H$  – горизонтальные и  $V$ -вертикальные), где:

$$P = H \cup V, H \cap V = \emptyset. \quad (2)$$

$D$  – множество видов движения несущей поверхности, как горизонтального расположения, так и вертикального ( $M$  – подвижная,  $N$  – неподвижная), где:

$$D = M \cup N, M \cap N = \emptyset; \quad (3)$$

$S_n, n = \{1..9\}, F_m, m = \{1..3\}$  – непересекающиеся множества конфигураций несущей поверхности;  $C$  – множество устройств с дополнительной камерой.

Типы движений делятся на следующие множества:

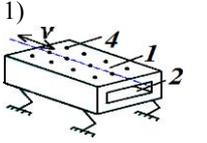
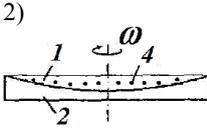
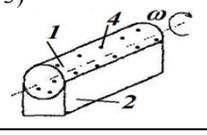
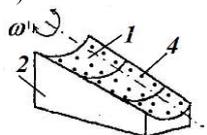
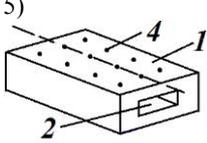
HP – горизонтальное поступательное;

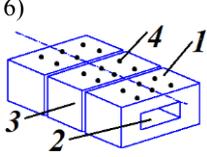
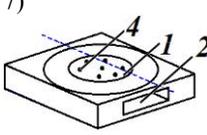
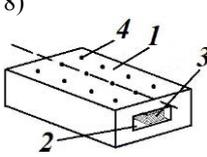
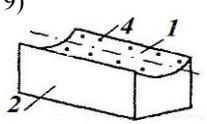
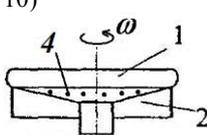
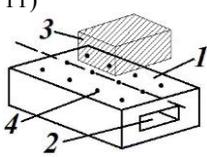
RV, RH – вращательные; O – колебательное;

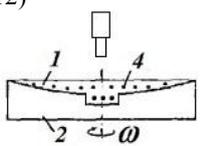
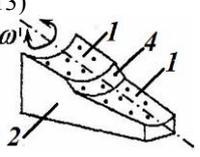
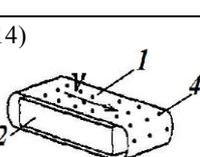
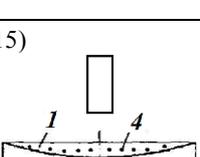
W – без перемещения.

Таблица 1

Анализ и элементы описания типовых систем манипулирования

Принципиальная схема устройств (код)	Описание класса	Форма и расположение РП (F) (P)	Движение РП (D)	Описание движения РП	Реализуемые операции	Описание специализации
1) 	$S_1 \cap M \cap H$	Подвижная плоскость горизонтальная	Горизонтальное поступательное	HP	$T \cap CM \cap HT$	specialty(D1, hardness, pharmaceuticals, symmetry). specialty(D1, fragility, pharmaceuticals, symmetry). specialty(D1, fragility, pharmaceuticals, asymmetry).
2) 	$S_2 \cap M \cap H$	Параболоид Вращения горизонтальный	Вращательное вокруг вертикальной оси	RV	$PO \cap SP \cap BP \cap L \cap HT \cap CM \cap SC$	specialty(D2, fragility, perfumery, symmetry). specialty(D2, hardness, pharmaceuticals, symmetry).
3) 	$S_3 \cap M \cap H$	Полый круговой цилиндр горизонтальный с наклоном	Вращательное вокруг горизонтальной наклонной оси	RH	$T \cap HT \cap SP \cap AO$	specialty(D3, hardness, pharmaceuticals, symmetry).
4) 	$S_4 \cap M \cap H$	Часть усеченного конуса горизонтального с наклоном	Колебательное вокруг горизонтальной наклонной оси	VII	$AO \cap HT \cap T$	specialty(D4, hardness, pharmaceuticals, symmetry).
5) 	$F_1 \cap C \cap N \cap H$	Жесткая плоскость горизонтальная	Без перемещения	W	$T \cap PO \cap HT \cap C \cap SP$	specialty(D5, fragility, pharmaceuticals, symmetry). specialty(D5, fragility, perfumery, symmetry). specialty(D5, stiffness, pharmaceuticals, symmetry). specialty(D5, hardness, pharmaceuticals, symmetry). specialty(D5, friction, pharmaceuticals, symmetry).

<p>6)</p> 	$F_2 \cap C \cap N \cap H$	<p>Жесткая плоскость со вставкой горизонтальная</p>	<p>Без перемещения</p>	<p>W</p>	$CM \cap FR \cap HT$	<p>specialty(D6, hardness, pharmaceuticals, symmetry). specialty(D6, fragility, perfumery, symmetry).</p>
<p>7)</p> 	$S_6 \cap M \cap H$	<p>Усеченный конус горизонтальный</p>	<p>Без перемещения</p>	<p>W</p>	$CM \cap DD \cap T \cap HT \cap BP$	<p>specialty(D7, fragility, pharmaceuticals, asymmetry). specialty(D7, fragility, perfumery, symmetry). specialty(D7, stiffness, pharmaceuticals, asymmetry).</p>
<p>8)</p> 	$F_2 \cap C \cap N \cap H$	<p>Плоскость горизонтальная со вставкой в пневмокамере</p>	<p>Без перемещения</p>	<p>W</p>	$CM \cap DD \cap T \cap HT$	<p>specialty(D8, hardness, pharmaceuticals, symmetry). specialty(D8, fragility, pharmaceuticals, asymmetry). specialty(D8, fragility, food, symmetry). specialty(D8, stiffness, pharmaceuticals, asymmetry).</p>
<p>9)</p> 	$S_5 \cap M \cap H$	<p>Часть полого горизонтального кругового цилиндра</p>	<p>Без перемещения</p>	<p>W</p>	$AO \cap HT \cap T$	<p>specialty(D9, hardness, pharmaceuticals, symmetry).</p>
<p>10)</p> 	$S_7 \cap M \cap H$	<p>Усеченный конус горизонтальный с кольцевой поверхностью</p>	<p>Вращательное вокруг вертикальной оси</p>	<p>RV</p>	$AO \cap HT \cap T \cap BP \cap L$	<p>specialty(D10, friction, pharmaceuticals, symmetry).</p>
<p>11)</p> 	$S_8 \cap M \cap H$	<p>Плоскость горизонтальная со вставкой сверху</p>	<p>Без перемещения</p>	<p>W</p>	$AS \cap HT \cap SC \cap CM$	<p>specialty(D11, fragility, food, symmetry). specialty(D11, fragility, food, asymmetry). specialty(D11, fragility, radio, symmetry). specialty(D11, fragility, radio, asymmetry). specialty(D11, friction, food, symmetry). specialty(D11, friction, food, asymmetry). specialty(D11, friction, radio, symmetry). specialty(D11, friction, radio, asymmetry).</p>

12) 	$S_4 \cap M \cap H$	Усеченный конус горизонтальный	Вращательное вокруг вертикальной оси	RV	$AC \cap HT \cap PO \cap BP$	specialty(D12, stiffness, radio, asymmetry).
13) 	$S_9 \cap M \cap H$	Часть усеченного конуса горизонтального с наклоном с цилиндрической вставкой	Колебательное вокруг горизонтальной наклонной оси	O	$PO \cap RE \cap SP \cap HT$	specialty(D13, hardness, pharmaceuticals, symmetry).
14) 	$F_1 \cap M \cap H$	Плоское ленточное полотно	Горизонтальное поступательное	HP	$PO \cap RE \cap HT \cap SP \cap CM \cap SC$	specialty(D14, fragility, food, asymmetry). specialty(D14, friction, food, asymmetry).
15) 	$F_2 \cap M \cap H$	Параболоид	Вращение вокруг вертикальной оси	RV	$T \cap BP \cap CM \cap HT \cap L$	specialty(D15, fragility, radio, symmetry). specialty(D15, fragility, radio, asymmetry).

Обозначения: 1 - РП (рабочая поверхность); 2 - Пневмокамера; 3 - Дополнительные камеры; 4 - Газоподводящее отверстие;  $v$  - Линейная скорость движения РП;  $\omega$  - Угловая скорость движения РП;  $\omega^1$  - Колебательное движение РП; Множества для описания реализуемых операций: PO - пассивное ориентирование; AO - активное ориентирование; SC - контроль качества поверхности; L - загрузка основного оборудования;

BP - базирование, позиционирование; FR - формование; SP - сортировка, классификация; DD - обеспыливание; T - транспортировка; HT - термообработка; CM - контроль массы; DS - дозировка, AS - сборка, RE - выбраковка. Обозначения кода изделий: Ф. - Физико-механические свойства: fragility - Хрупкость, ломкость. friction - Фрикционность. stiffness - Прочность, жесткость. hardness - Твердость.

П. - Вид промышленности, поверхности: pharmaceuticals - Фармацевтические изделия. perfumery - Парфюмерная продукция. food - Пищевая штучная продукция. radio - Изделия микроэлектроники, радиотехники и т. д. Г. - Геометрические параметры. symmetry - Симметричность относительно вертикальной оси. asymmetry - Ассиметричность относительно вертикальной оси

Таблица 2  
Авторские свидетельства и патенты устройств с газовой несущей прослойкой

Конфигурация несущей поверхности	Номер авторских свидетельств или патентов
Подвижная плоскость горизонтальная	971747, 1281912, 1426841
Параболоид вращения горизонтальный	1337226, 1511045, 1717309, 2056122, 2277006, 1400951, 2147942
Полый цилиндр горизонтальный с наклоном	1553471, 2130890, 2151728, 2130419, 2149714, 2151094, 2159916
Часть усеченного конуса горизонтальная	1348003
Жесткая плоскость горизонтальная	1366444, 1399138, 2183822, 2098270, 1345034, 1362695, 1456726, 1416402, 1399138, 1523363, 2087875, 2112223, 708679, 856945, 887372, 1017624, 1054240, 1409203, 1431941, 251762, 854838, 1324961, 2127423, 2183004, 2182769, 2184461, 2195835, 2209170, 2231267, 2264713
Плоскость с вставленной камерой горизонтальная	1448215, 1569572, 1560984, 1643946, 2098271, 2090845, 2087860, 1008623, 2091722, 2093797, 2093798, 1306727

Продолжение табл. 2

Плоскость с встроенной камерой горизонтальная	2099672, 634745, 745707, 1750599, 452342, 2268221, 2127057, 2127059, 621967
Полуцилиндр горизонтальный	798740, 928306, 978105, 978106, 2017198, 2017199, 2018903, 2018905, 2018908, 752117, 1248907, 2184452
Усеченный конус горизонтальный	2153209, 2094903, 1780428, 1769638, 1736268, 1618218, 1598770, 1558256, 2217841, 2278443, 2098888, 2131155, 2163408, 2168796, 2191674, 2193258, 2093921, 2158987, 2099816, 2099815, 2136077, 2157509, 2175283

Третий этап структурной типологизации заключается в создании алгоритмической программы, позволяющей в автоматическом режиме спроектировать основные элементы конструкций устройств, использующих в своей работе эффекты газовой несущей прослойки.

Блок-схема структуры данной программы представлена на (рисунке 4).

Таким образом, имея описание всех устройств, можно аналитически вывести тип рабочей поверхности, удовлетворяющей заданным требованиям. Вывод производится, исходя из трех составляющих:

- аксиом – предикаты, которые описывают рабочие поверхности;
- правила вывода – зафиксированный набор вспомогательных средств;
- формула, которую надо проверить – запрос, в котором указаны все требования к обработке изделия.

При выводе осуществляется перебор всех поверхностей с использованием правил вывода для выявления того подмножества, которое удовлетворяет заявленным требованиям. Множество реализуемых операций и характеристик изделия назовем списком требований или требованиями, тогда используя императивный подход, схема решения задачи примет вид, представленный на рисунке 3.

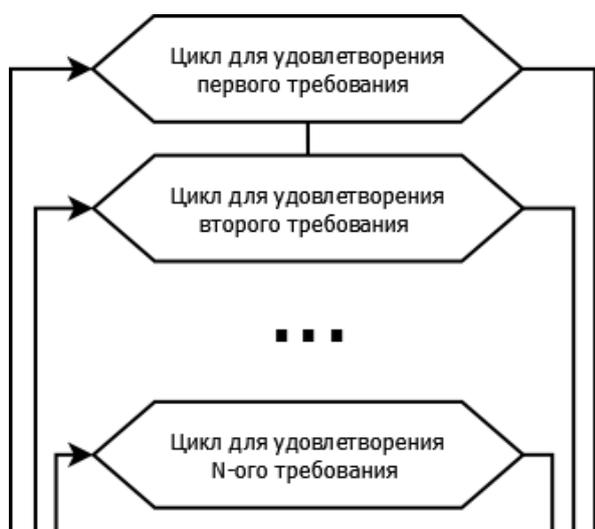


Рисунок 3 Структура императивной реализации алгоритма

В этом случае алгоритм, представляющий собой некоторое количество вложенных циклов по количеству требований, не является инвариантом по отношению к цели. Также стоит отметить, что в случае неудачного поиска невозможно произвести анализ с дальнейшей декомпозицией цели на группы требований. Подобные недостатки могут быть исключены при использовании декларативного подхода, в этом случае алгоритм поиска решения имеет вид, представленный на рисунке 4.

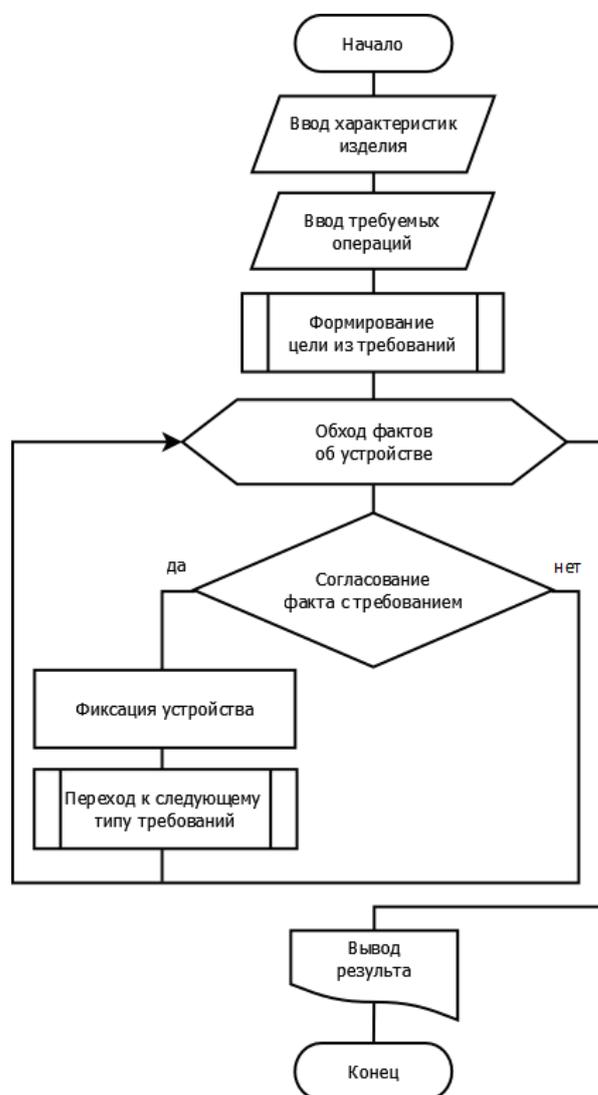


Рисунок 4. Декларативная реализация алгоритма

Программная реализация может быть осуществлена на языке Prolog, который является декларативным. Для того чтобы инициировать вычисления выполняется специальный запрос к базе знаний, на которые система логического программирования генерирует ответы «истина» и «ложь».

Для обобщённых запросов с переменными в качестве аргументов созданная система выводит конкретные данные в подтверждение истинности обобщённых сведений и правил вывода. Например, часть определенных в таблице операций для устройств с определённой схемой будут записаны на языке следующим образом:

```
predicates
    specialty(symbol, symbol, symbol)
clauses
    specialty(D1, fragility,pharmaceutics, asymmetry)
    specialty(D1, hardness,pharmaceutics, symmetry)
    specialty(D1, fragility,pharmaceutics, symmetry)
```

(4).

## ЛИТЕРАТУРА

1 Авцинов И.А., Кристаль М.Г., Маликов Д.Ю. Классификация устройств с газовой несущей прослойкой // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. № 2. С. 9–11.

2 Авцинов И.А., Битюков В.К., Маликов Д.Ю. Анализ специфических изделий и конструкций устройств для их манипулирования // Вестник ВГУИТ. 2013. № 4. С. 73–78.

3 Тишин В.В. Дискретная математика в примерах и задачах. учеб. литература для вузов. СПб.: БХВ – Петербург, 2008. 352 с.

4 Братко И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке Prolog. М.: Pearson, 2012. 696 с.

5 Андерсон Д.А. Дискретная математика и комбинаторика. М.: Вильямс, 2005. 960 с.

По мере расширения предметного множества, можно добавлять предикаты, описывающие новое оборудование или изделие, тем самым увеличивая базу данных.

Завершающий этап структурной типологизации включает теоретические изыскания по выбору обобщённых динамических характеристик предлагаемых устройств с целью реализации описанных операций в автоматическом режиме и достижения необходимой производительности оборудования, использующего в работе эффекты тонкой газовой несущей прослойки. Таким образом, авторами реализованы три первых этапа структурной типологизации и ведутся работы по завершению последнего этапа.

## REFERENCES

1 Avtsinov I.A., Cristal' M.G., Malikov D. Yu. Classification of devices with gas carrying layer. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii*. [Assembly in mechanical engineering, instrument making], 2014, no. 2, pp 9–11. (In Russ.).

2 Avtsinov I.A., Bityukov V.K., Maliovk D.Yu. An analysis of the specific products and designs devices for their manipulation. *Vestnik VGUIT*. [Proceedings of VSUET], 2013, no. 4, pp. 73–78. (In Russ.).

3 Tishin V.V. Diskretnaya matematika v primerakh i zadachakh [Discrete mathematics in examples and problems]. Saint-Petersburg, BKhV – Petersburg, 2008. 352 p. (In Russ.).

4 Bratko I. Algoritmy iskustvennogo intellekta na yazyke Prolog [Algorithms of artificial intelligences in-language Prolog]. Moscow, Pearson, 2012. 696 p. (In Russ.).

5 Anderson D.A. Diskretnaya matematika i kombinatorika [Discrete mathematics and combinatorics]. Mosocow, Vil'yams, 2005. 960 p. (In Russ.).