

## **SOFTWARE DEVELOPMENT FOR AUTOMATION OF FILLING OPERATIONS**

**Dubovik N.N. (Russian Federation) Email: Dubovik513@scientifictext.ru**

*Dubovik Nikolay Nikolaevich - Graduate Student,  
DEPARTMENT OF IU4 "DESIGN AND PRODUCTION TECHNOLOGY OF  
ELECTRONIC COMPUTING EQUIPMENT",  
BAUMAN MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY, MOSCOW*

**Abstract:** *this article discusses the stages of creating an automated system that optimizes the process of lapping operations. The first stage is the development of an algorithm that allows calculating the position of zones and tablets in them according to the input parameters of lapping and tablets in each zone. The next step of the algorithm is to calculate the distance between tablets in neighboring zones. In conclusion, a system is proposed that automates the entire process and allows modeling the form of lapping wear.*

**Keywords:** *lapping wear forms, lapping outer diameter, calculation algorithm, parameter optimization.*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ДОВОДОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ**

**Дубовик Н.Н. (Российская Федерация)**

*Дубовик Николай Николаевич – аспирант,  
кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронно-  
вычислительной аппаратуры»,  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
г. Москва*

**Аннотация:** *в данной статье рассмотрены этапы создания автоматизированной системы, оптимизирующей процесс доводочных операций, Первым этапом является разработка алгоритма который позволяет по введенным параметрам притира и таблеток в каждой зоне вычислять положение зон и таблеток в них Следующим шагом алгоритма будет расчет расстояния между таблетками в соседних зонах. В заключение предложена система, автоматизирующая весь процесс и позволяющая моделировать форму износа притиров.*

**Ключевые слова:** *формы износа притира, внешний диаметр притира, алгоритм расчета, оптимизация параметров.*

УДК: 621.923.74

Для выполнения поставленных задач, а именно для создания автоматизированной системы, оптимизирующей процесс доводочных операций, в первую очередь был разработан алгоритм, который позволяет по введенным параметрам притира и таблеток в каждой зоне вычислять положение зон и таблеток в них, а затем отрисовывать их расположение на притире. Входные параметрами для алгоритма являются:

- Внешний диаметр притира;
- Внутренний диаметр притира;
- Диаметр таблеток;
- Отступ таблеток от внутренней границы притира;
- Отступ таблеток от внешней границы притира;
- Число таблеток в каждой зоне;
- Стартовый угол расположения таблеток.

Схематично притир с параметрами, необходимыми для ввода, изображен на рисунке ниже. Для упрощения приведены только две зоны, содержащие шесть и девять таблеток соответственно. Радиусом зоны считается её середина, т.е. окружность, на которой лежат центры таблеток. Нумерация зон производится от центра притира к его краю.

После введения входных данных вычисляются диаметры рабочей зоны, которая, с учетом отступов от краев притира будет вычисляться по следующим формулам:

$$D_{in1} = D_{in} + 2\Delta h_{in},$$
$$D_{ext1} = D_{ext} - 2\Delta h_{ext}$$

где  $D_{in1}$  – внутренний диаметр рабочей зоны, [мм];  $D_{in}$  – внутренний диаметр притира, [мм];  $D_{ext1}$  – внешний диаметр рабочей зоны, [мм];  $D_{ext}$  – внешний диаметр притира, [мм];  $\Delta h_{in}$  – отступ таблеток от внутреннего края притира, [мм];  $\Delta h_{ext}$  – отступ таблеток от внешнего края притира, [мм].

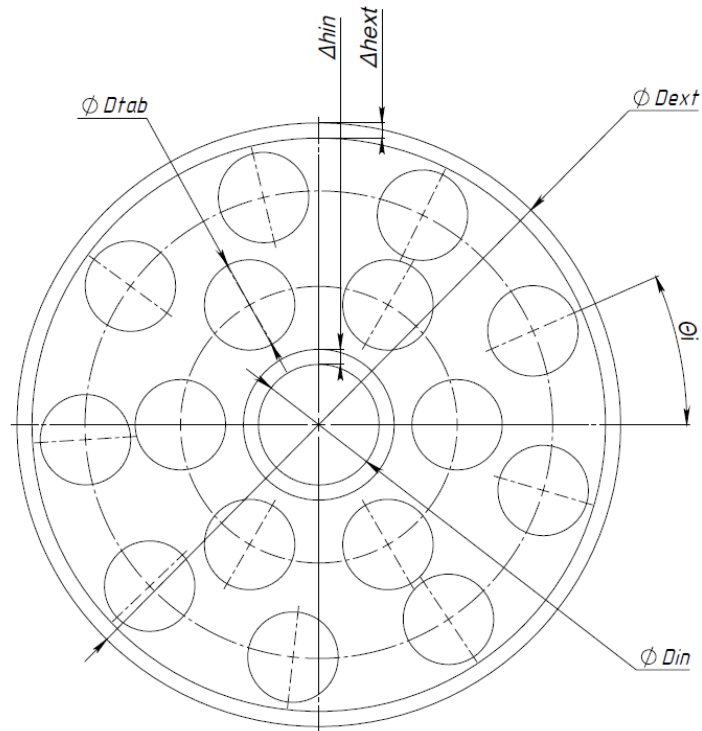


Рис. 1. Притир с указанными обозначениями введенных параметров алгоритма

На основе размеров таблеток и параметров рабочей зоны вычисляется количество зон, которые можно разместить на заданном притире.

$$N = \frac{D_{ext1} - D_{in1}}{2 * D_{tab}}$$

где  $D_{tab}$  – диаметр таблетки, [мм];  $N$  – количество зон, [мм];

Следующим шагом алгоритма будет расчет расстояния между таблетками в соседних зонах. Согласно поставленным требованиям оно должно быть одинаковым для всех зон. Следовательно, расстояние между таблетками должно зависеть от параметров рабочей зоны, диаметров таблеток и числа зон. Таким образом его можно вычислить следующим способом:

$$\Delta R = \frac{D_{ext1} - D_{in1}}{2N}$$

где  $\Delta R$  – расстояние между таблетками в соседних зонах, [мм].

Размеры рабочей зоны и расстояние между таблетками  $\Delta R$  изображены на рисунке ниже. Для пояснения приведены две зоны и окружности, описывающие границы каждой из зон.

Далее рассчитываются радиусы каждой из зон. Расчет основывается на расстоянии между таблетками  $\Delta R$ . Поскольку центры таблеток должны лежать на середине зон, то:

$$R_i = \frac{D_{in1}}{2} + \Delta R(i - 0.5),$$

где  $R_i$  – радиус  $i$ -ой зоны, [мм];  $i$  – номер зоны (целое число от 1 до  $N$ ), [б.р.].

Таблетки должны быть равномерно распределены по каждой  $i$ -ой зоне, а, следовательно, их центры должны образовывать правильный  $N_i$ -угольник, где  $N_i$  – число таблеток в  $i$ -ой зоне. Также введем понятие опорной зоны – это такая зона, в которой таблетки расположены наиболее плотно друг к другу, то есть расстояние между таблетками равно нулю, либо минимально возможное. Максимальное же число таблеток, которое можно разместить в зоне зависит от её диаметра и диаметра таблеток:

$$N_{tabmaxi} = \frac{\pi}{\sin^{-1} \frac{D_{tab}}{2R_i}}$$

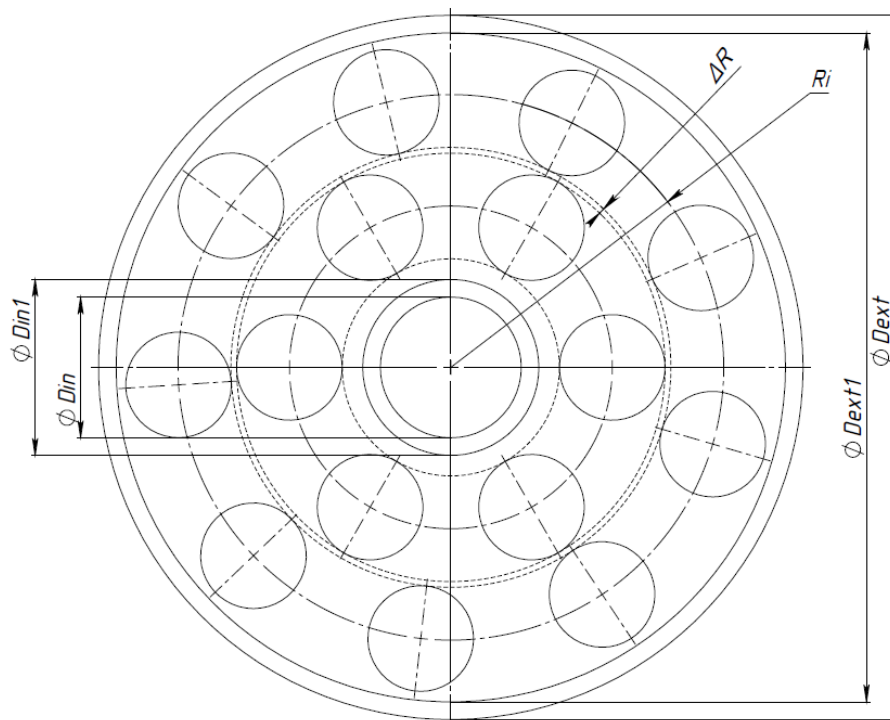


Рис. 2. Притир с выделенной рабочей зоны и расстояние между таблетками  $\Delta R$

Формула получена из следующих соображений. Согласно поставленным требованиям, в одной зоне таблетки должны быть расположены на одинаковом расстоянии друг от друга. Следовательно, центры таблеток, расположенных в одной зоне, образуют собой правильный многоугольник. Тогда радиус зоны  $R_i$  – это радиус описанной вокруг этого многоугольника окружности. Максимальное число таблеток в одной зоне определяется условием, что таблетки не должны наезжать друг на друга, тогда

максимальное число таблеток будет в том случае, когда они расположены вплотную друг к другу. При таком позиционировании, сторона многоугольника будет равна диаметру одной таблетки. Исходя из этих соображений вычисляется угол между двумя соседними таблетками:

$$\begin{cases} \alpha_i = \frac{2\pi}{N_{tabmaxi}} \\ \alpha_i = \sin^{-1} \frac{D_{tab}}{2R_i} \end{cases}$$

Решение этой системы позволяет вычислить максимальное число таблеток в каждой зоне.

### Формы износа притира

Опорная зона вводится на основании практического опыта, который показывает, что притиры имеют характерные формы износа, а именно:

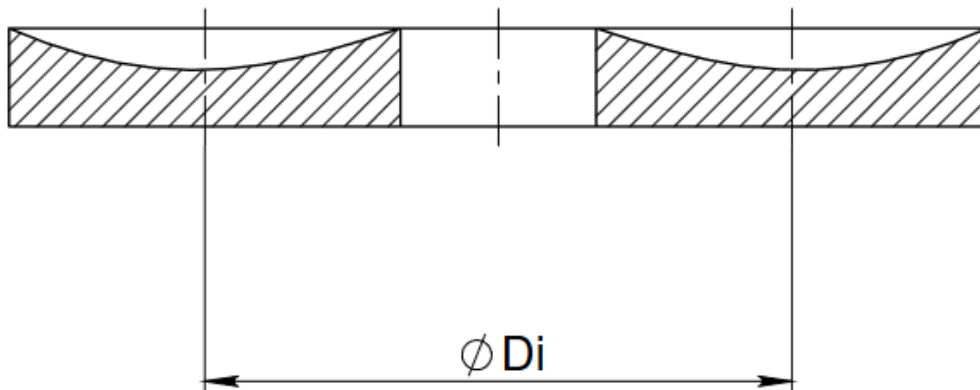


Рис. 3. Торoidalная вогнутая форма износа притира

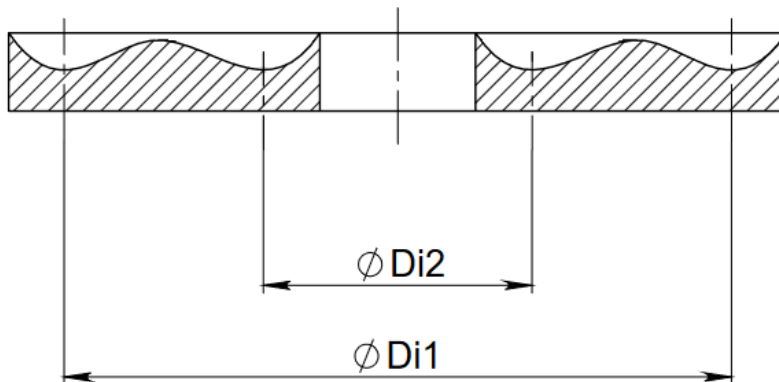
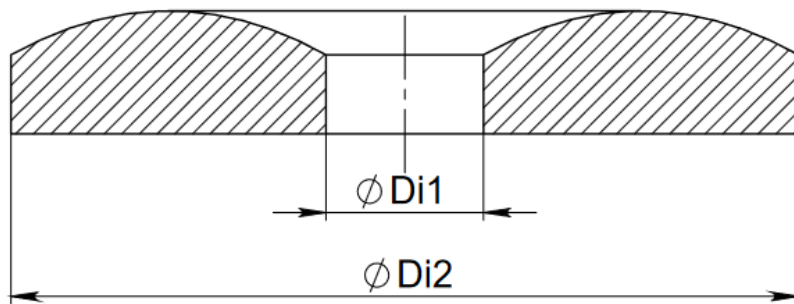
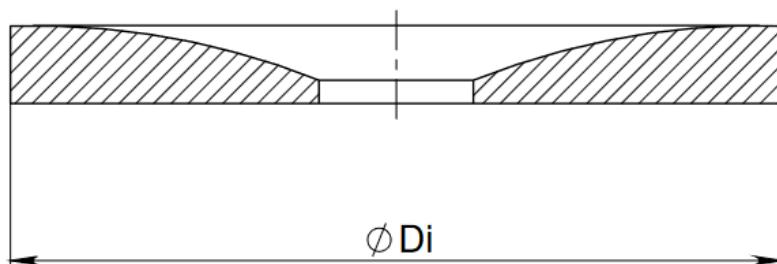


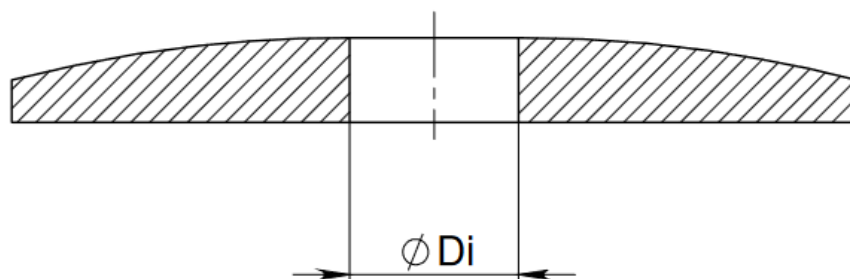
Рис. 4. Двугорбая форма износа притира



*Рис. 5. Тороидальная выпуклая форма износа притира (частный случай двугорбой)*



*Рис. 6. Вогнутая форма износа притира*



*Рис. 7. Вогнутая форма износа притира*

После проведенных вычислений производится ввод числа таблеток в каждой зоне и стартовый угол расположения таблеток. В случае, если данные корректны, производится построение притира с заданным параметрами.

Пользователь знает какую плотность расположения таблеток по зонам ему необходимо иметь, например:

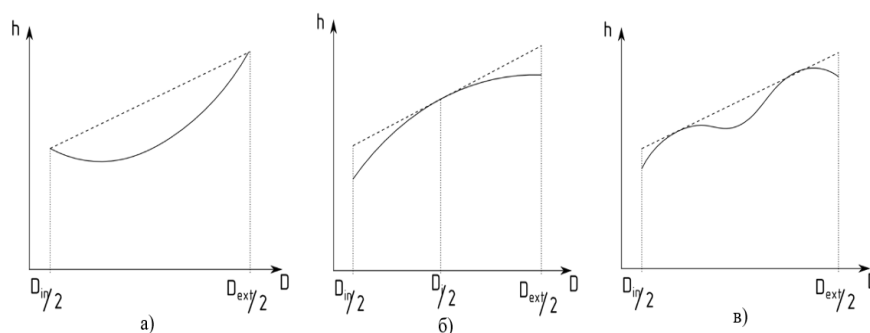


Рис. 8. Примеры плотности расположения таблеток по зонам

В первую очередь отстраиваются контуры притира, контуры рабочей зоны и контуры центров зон расположения таблеток. Поскольку они представляют собой окружности, при написании алгоритма для упрощения создана функция, позволяющая на основе введенных координат центра окружности и диаметра построить её.

Для построения окружности сетка по углам создавалась таким образом, чтобы расстояние между точками составляло один градус. После этого координаты точек вычислялись следующим образом:

$$x_i = \frac{D}{2} * \cos(t_i) + x_c ,$$

$$y = \frac{D}{2} * \sin(t_i) + y_c ,$$

где  $D$  – диаметр требуемой окружности, [мм];  $x_i$  – абсцисса точки, [мм];  $y_i$  – ордината точки, [мм];  $t_i$  – точка построенной сетки, [град];  $x_c$  – абсцисса центра окружности, [мм];  $y_c$  – ордината центра окружности, [мм].

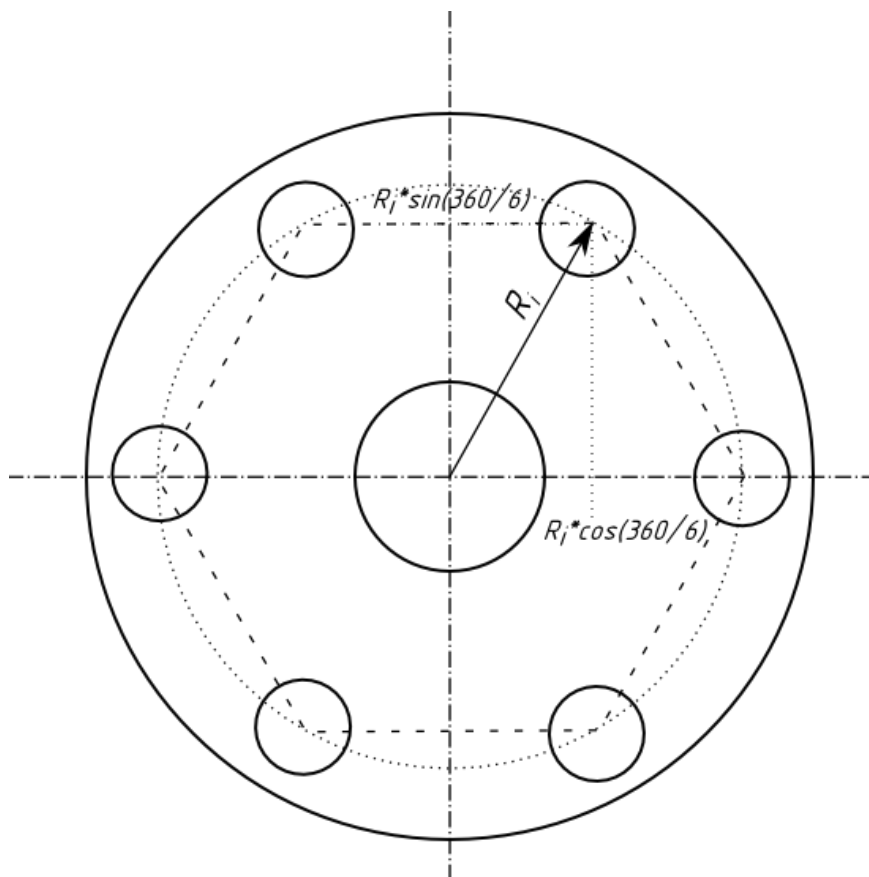
Используя эту функцию, отстраиваются контуры притира (две окружности с диаметрами  $D_{in}$  и  $D_{ext}$  соответственно), рабочей зоны (две окружности с диаметрами  $D_{in1}$  и  $D_{ext1}$ ), центров зон расположения таблеток (окружности диаметров  $2R_i$ ). Их центры лежат в начале координат, т.е. значения  $x_c$  и  $y_c$  равны нулю.

Следующим шагом является вычисление координат центров. Можно воспользоваться теми же рассуждениями, что и при выводе формулы 5, за тем исключением, что требуется решить обратную задачу. Для этого также была написана отдельная функция: на вход функции подается радиус зоны, диаметр таблеток, число таблеток и стартовый угол для отрисовки. В отличие от предыдущей функции, отрезок от  $0$  до  $2\pi$  будет разбиваться на  $N_{tabi}$  равных участков. Таким образом, центры таблеток будут описывать правильный многоугольник, что удовлетворяет поставленному правилу: расстояние между таблетками будет одинаковым. После этого к каждой координате точки построенной сетки добавляется значение стартового угла, обеспечивая нужный оборот. На основе построенной сетки для

каждой зоны рассчитываются координаты центров таблеток в декартовой системе координат:

$$\begin{aligned}x_i &= R_i * \cos(t_i), \\y_i &= R_i * \sin(t_i).\end{aligned}$$

Способ определения координат центров схематически изображен на рисунке ниже. На нем приведена одна из зон, которая описывается окружностью с радиусом  $R_i$  и таблетки. Для примера использовано шесть таблеток и показано, что центры таблеток лежат на углах правильного шестиугольника. Также указаны проекции радиус-вектора, описывающего центр окружности на координатные оси.



*Рис. 9. Притир со схемой определения координат центров таблеток в одной зоне*

После этого вызывается функция для построения окружности, на вход которой идут значения  $x_i$  и  $y_i$  – координаты центров таблеток и  $D_{tab}$  – диаметры таблеток.

Дополнительно в алгоритм, для исключения ошибок работы программы, также добавлена проверка введенных данных. Она состоит из двух основных этапов:

- 1) Проверка на пустые поля;
- 2) Проверка на корректность введенных данных.



Второй этап проверки начинается только в том случае, если успешно завершен первый этап. На втором этапе проверяется, чтобы внешний диаметр притира был больше внутреннего диаметра притира, чтобы внутренний диаметр рабочей зоны был меньше внешнего диаметра рабочей зоны, и чтобы на рабочей зоне помещалось таблетки с заданными диаметрами. Последняя проверка делается по следующему критерию:

$$\frac{D_{ext1} - D_{in1}}{2} \geq N * D_{tab}.$$

В случае, если это условие не выполняется, выводится сообщение о соответствующей ошибке и предлагается исправить ее, уменьшив диаметр таблеток или же уменьшив число зон. Помимо этого, также проверяется условие для параметров рабочей зоны: она может быть больше размеров притира, но при этом таблетки не должны заходить за границы притира больше, чем на четверть диаметра. Таким образом в поля отступов допускается вводить отрицательные значения, что подразумевает случай выход рабочей зоны за пределы притира.

Список проверяемых критериев приведен в таблице 0.

*Таблица 1.1. Проверяемые критерии в порядке прохождения*

<b>Этап 1: Проверка на заполнение данных</b>	
1	Внутренний диаметр введен и больше нуля
2	Внешний диаметр введен и больше нуля
3	Диаметр таблеток введен и больше нуля
4	Величина внешнего отступа от краев притира введена и больше - $0.25D_{tab}$
5	Величина внутреннего отступа от краев притира введена и больше $-0.25D_{tab}$
<b>Этап 2: Проверка на корректность введенных данных</b>	
1	Внешний диаметр притира больше внутреннего
2	Ширина рабочей зоны больше нуля
3	Таблетки заданного диаметра помещаются на заданной рабочей зоне

По итогам проверки выводятся сообщения об обнаруженных ошибках. До тех пор, пока не исправлены ошибки первого этапа проверки, тестирование корректности данных не производится, чтобы исключить дополнительные ошибки обработки данных. Если первый этап проверки успешен, алгоритм переходит на второй этап проверки, по итогам которого, в случае наличия, выводится список ошибок. Если же оба этапа проверки пройдены успешно, выводится соответствующее сообщение и становится возможно построение притира и таблеток на нем. Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 10.

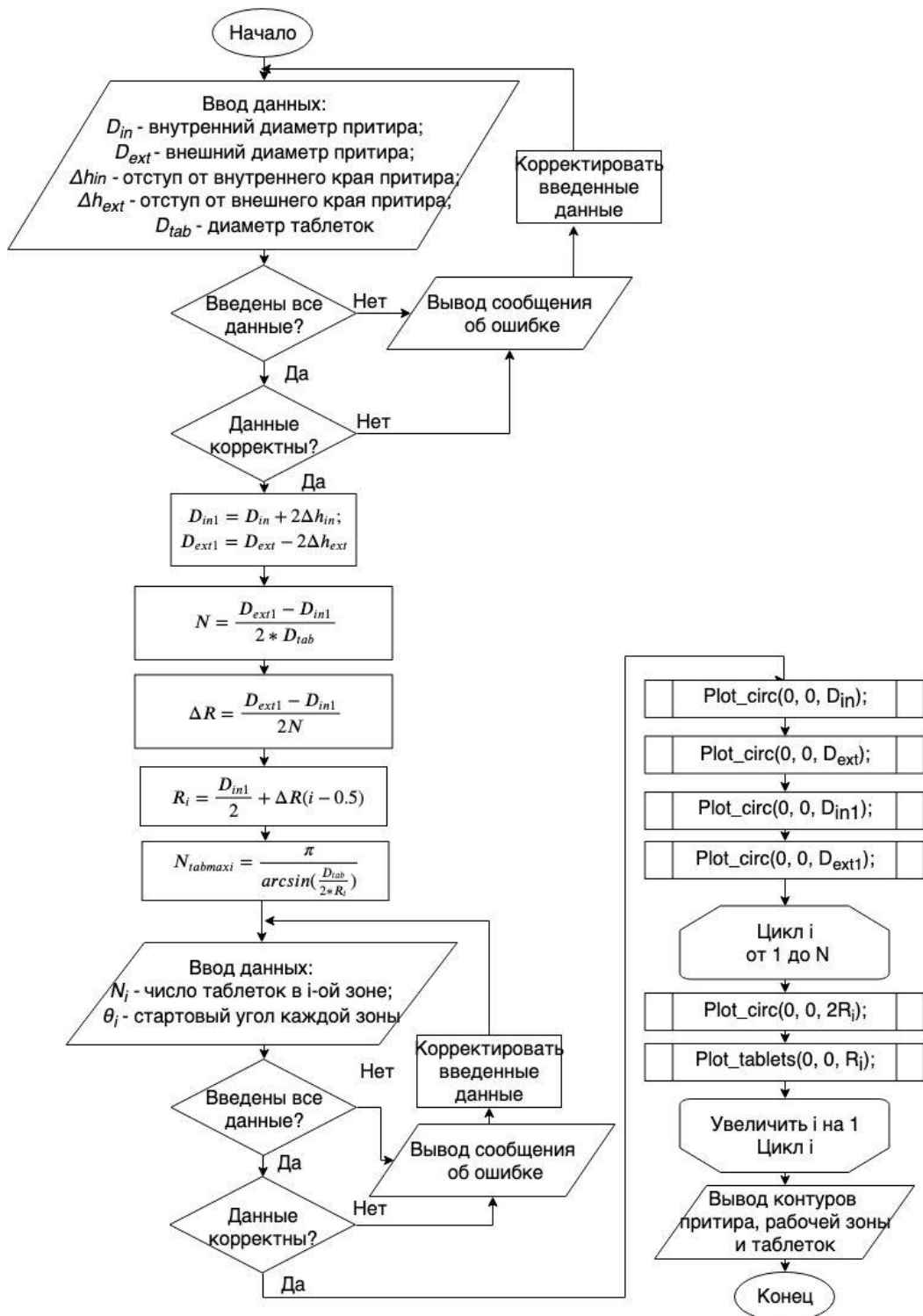


Рис. 10. Блок-схема алгоритма работы программы

### Список литературы / References

1. Чижов А.С. Исследование процесса доводки тонких пластин из монокристаллов: Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. М., 1975. 175 с.

2. Орлов П.Н. Основные принципы абразивной доводки деталей // Станки и инструмент, 1977. № 1. С. 33-35.
3. Орлов П.Н. Технологическое обеспечение параметров качества деталей при абразивной обработке: Диссертация на соискание степени доктора технических наук: М., 1980. 442 с.
4. Дубовик Н.Н. Анализ кинематики доводочных станков планетарного типа // «Научно-практические исследования», 2019. № 7-4 (22).
5. Дубовик Н.Н. Обзор стандартных технологических процессов изготовления пластин из кремния и сапфира // «Colloquium-journal», 2019. № 25 (49).
6. Дубовик Н.Н. Анализ существующих методов расчета формы износа притиров // «Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки», 2019.