

УДК 621.31:621.771.06-88

**СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО РЕСУРСА
ШПИНДЕЛЬНОГО ВАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ
МАШИНЫ****Андрей Анатольевич Мальцев**доцент кафедр ФН-7 и МТ-10 МГТУ им Н.Э. Баумана
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**Юрий Иванович Беляков**доцент кафедры ФН-7 МГТУ им Н.Э. Баумана
e-mail: belpmm@mail.ru**Ирина Александровна Тарасенко**старший преподаватель кафедры ФН-7 МГТУ им Н.Э. Баумана
e-mail: iri-tarasenko@yandex.ru**Аннотация**

Получена вероятностная оценка ресурса работы шпиндельного вала электропривода двухвалкового стана, выраженная количеством прокатанных заготовок до момента разрушения вала в его опасном сечении, основанная на результатах применения метода Монте-Карло.

Ключевые слова: электропривод, вероятность, ресурс, металлургия.**STATISTICAL MODELING OF THE CYCLIC RESOURCE OF THE SPINDLE
SHAFT OF AN ELECTRIC DRIVE OF A METALLURGICAL MACHINE****Andrey A. Maltsev**associate professor, Bauman Moscow State Technical University
ФН-7 and МТ-10 Departments
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**Yuri I. Belyakov**associate professor, Bauman Moscow State Technical University
ФН-7 Department
e-mail: belpmm@mail.ru

Irina A. Tarasenko

senior lecturer, Bauman Moscow State Technical University

ФН-7Department

e-mail: iri-tarasenko@yandex.ru

ABSTRACT

A probabilistic estimation of the working life of the spindle shaft of the electric drive of a two-roll mill is obtained, expressed by the number of rolled billets up to the moment of destruction of the shaft in its dangerous section, based on the results of the Monte Carlo method.

Keywords: electric drive, probability, resource, metallurgy.

Введение

Объект исследования – вал шпинделя электропривода двухвалкового прокатного стана (рис. 1).

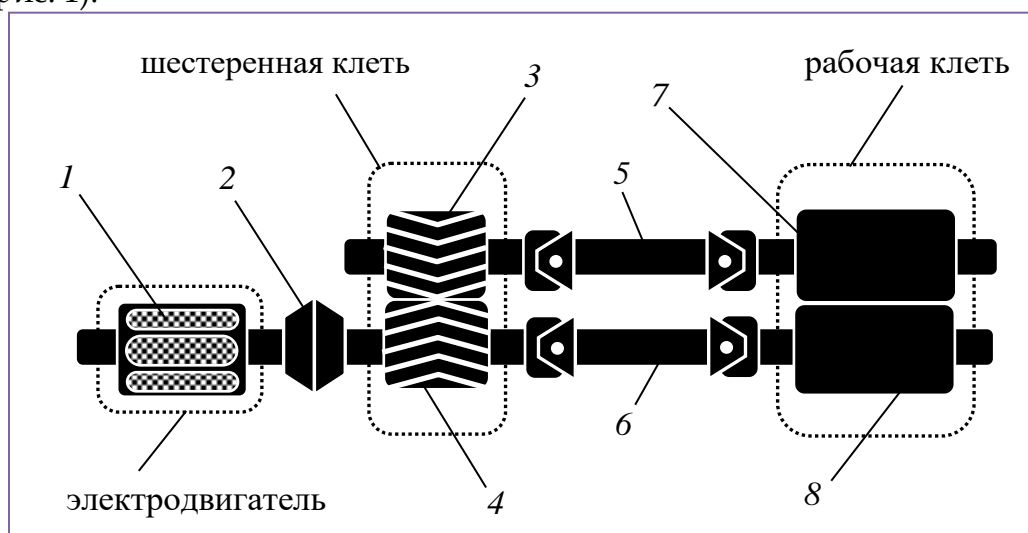


Рисунок 1. Схема валопровода электропривода

- 1 – ротор электродвигателя;
- 2 – соединительная муфта;
- 3, 4 – шестеренные валки;
- 5, 6 – универсальные шпиндели;
- 7, 8 – рабочие валки

Предмет исследования – ресурс работы вала шпинделя.

Цель исследования – определить количество прокатанных заготовок до поломки вала (появления макроскопической трещины в металле).

Задача исследования – получить вероятностную оценку циклического ресурса опасного сечения вала шпинделя, находящегося в месте ступенчатого перехода с галтелью.

Материалы и методы исследования

Исходные данные – параметры диаграммы Вёллера ($\tau_{-1сеч}, N_G, m$) и опасные амплитуды спектра касательных напряжений ($\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$), известные из предыдущих исследований [1, 2, 3].

Предел выносливости вала шпинделя в опасном сечении:

$$\tau_{-1\text{сеч}} = 83 \text{ МПа.} \quad (1)$$

Абсцисса точки перелома кривой усталости (диаграммы Веллера), построенной в логарифмических координатах:

$$N_G = 2 \cdot 10^6 \text{ циклов.} \quad (2)$$

Показатель наклона левой ветви кривой усталости, построенной в логарифмических координатах:

$$m = 5,8. \quad (3)$$

Опасные амплитуды спектра касательных напряжений:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= 240 \cdot 10^6 \text{ МПа;} \\ \tau_2 &= 132 \cdot 10^6 \text{ МПа;} \\ \tau_3 &= 84 \cdot 10^6 \text{ МПа;} \\ \tau_4 &= 48 \cdot 10^6 \text{ МПа.} \end{aligned} \quad (4)$$

На основании скорректированной линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений, после подстановки (1), (2), (3) и (4) в формулу Когаева-Серенсена [1], вычислено количество заготовок, прокатанных до поломки вала шпинделя в его опасном сечении:

$$N_{\text{заг}} = \frac{a_p \tau_{-1\text{сеч}}^m N_G}{\tau_1^m} = 1800 \text{ штук,} \quad (5)$$

где a_p – корректирующий коэффициент;

$$\begin{aligned} a_p &= \frac{\tau_1 \xi - 0,5 \tau_{-1\text{сеч}}}{\tau_1 - 0,5 \tau_{-1\text{сеч}}} = 0,4; \\ \xi &= \frac{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4}{4 \tau_1} = 0,53. \end{aligned}$$

По данным ГОСТ 25.504–82 «Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости» величина N_G колеблется в пределах от 10^6 до $3 \cdot 10^6$ циклов.

В настоящей статье при расчете опасного сечения вала шпинделя на циклическую прочность авторы рассматривают величину N_G как случайную и разыгрывают ее методом статистического моделирования (Монте-Карло).

Суть метода Монте-Карло заключается в том, что величина N_G задается генератором случайных величин, циклический ресурс опасного сечения вала шпинделя $N_{\text{заг}}$ многократно обсчитывается, после чего строится гистограмма распределения частот.

Для реализации метода Монте-Карло в среде MathCAD использованы следующие встроенные функции:

1) $\text{runif}(m, a, b)$, которая возвращает вектор из m случайных чисел, имеющих равномерное распределение на интервале $[a;b]$;

2) $\text{rnorm}(m, \mu, \sigma)$, которая возвращает вектор из m случайных чисел, имеющих нормальное распределение со средним μ и среднеквадратическим отклонением σ .

3) $\text{hist}(\text{intvls}, \text{data})$, которая возвращает вектор, элементами которого являются частоты, с которыми значения данных попадают в интервалы, заданные параметром intvls . Параметр intvls может быть вектором конечных точек интервалов или целым числом подинтервалов равной длины.

4) $\text{histogram}(\text{intvls}, \text{data})$, которая возвращает матрицу из двух столбцов, содержащую средние точки подинтервалов intvls . Второй столбец идентичен вектору, возвращаемому функцией hist . Результирующая матрица содержит intvls строк.

Результаты и их обсуждение

Эксперимент №1 – генерация равномерного распределения N_G (рис. 2– 5).

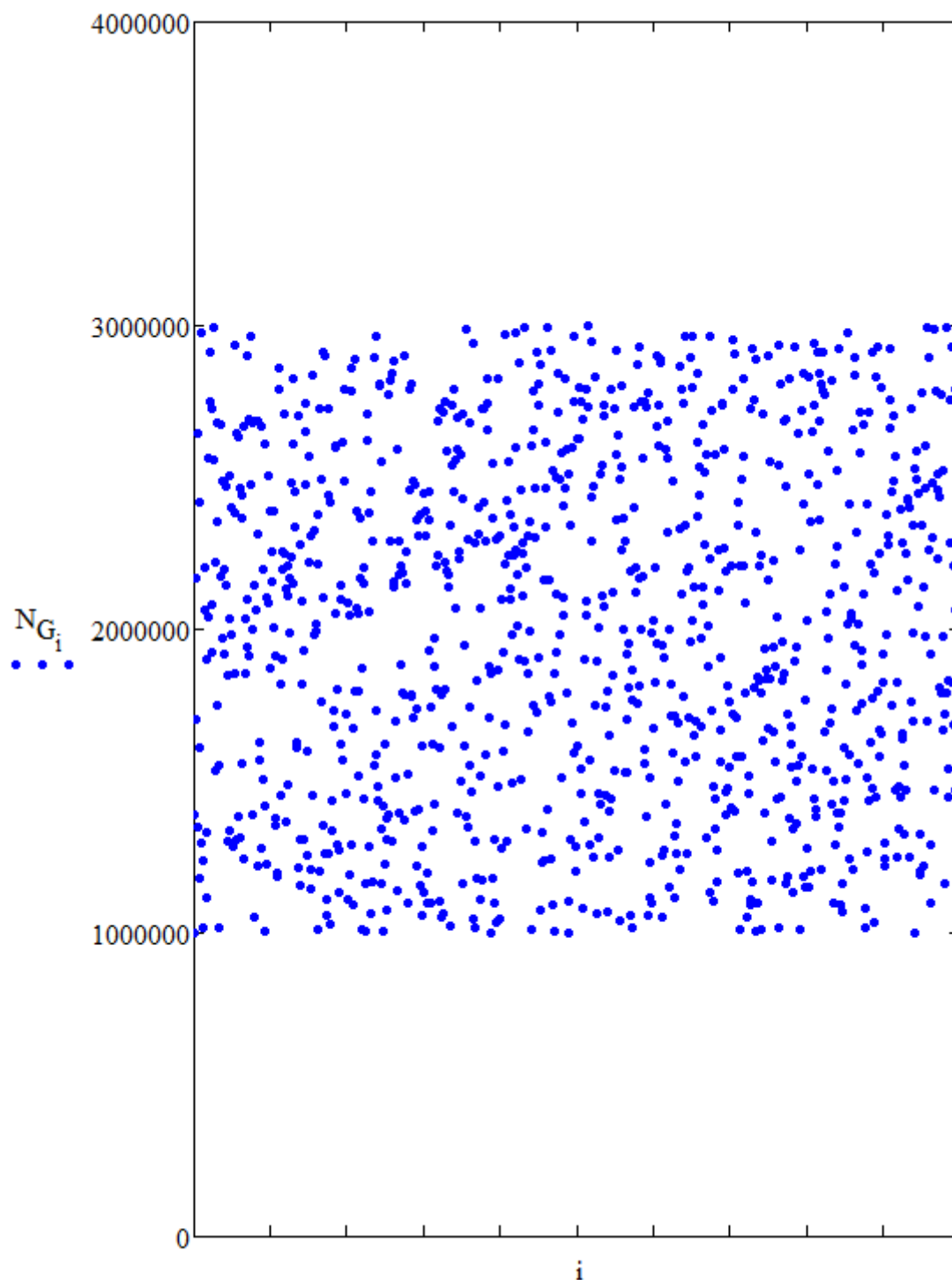


Рисунок 2. Результат 1000 розыгрышей случайной величины N_G , равномерно распределенной на интервале $[10^6; 3 \cdot 10^6]$:
 $N_G := \text{runif}(1000, 10^6, 3 \cdot 10^6)$

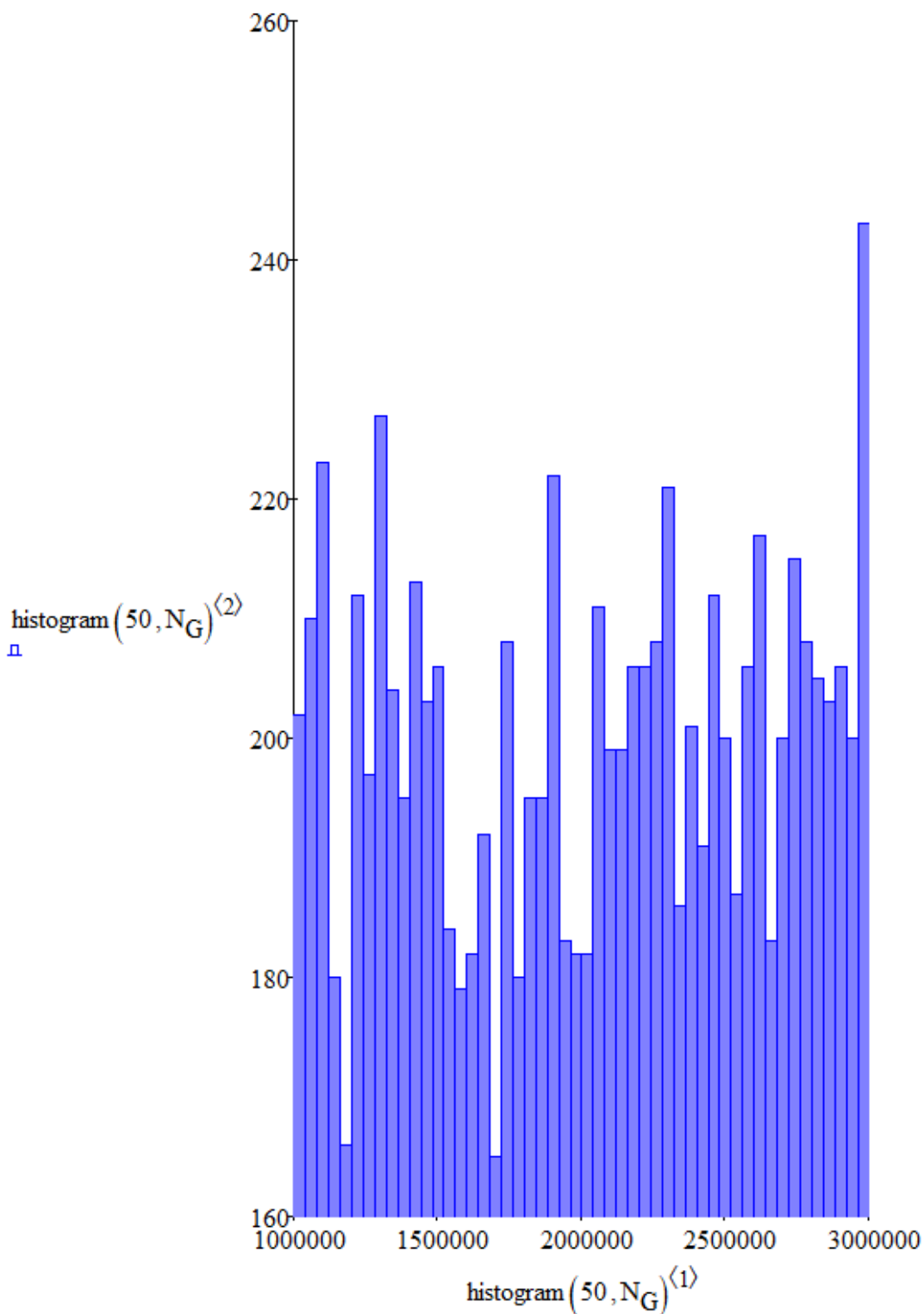


Рисунок 3. Гистограмма распределения частот случайной величины N_G по результату 1000 розыгрышей:
 $N_G := \text{runif}(1000, 10^6, 3 \cdot 10^6)$

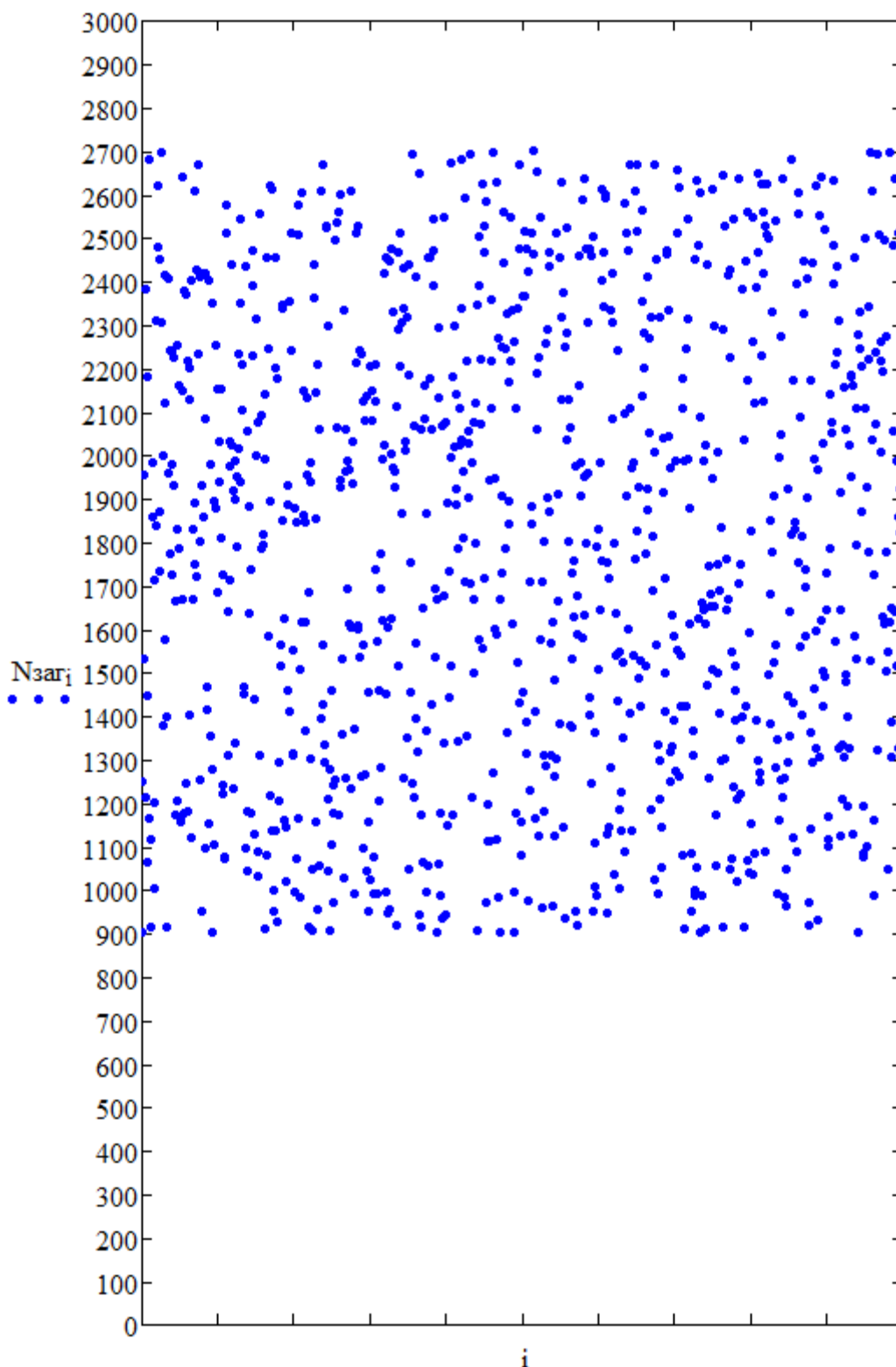
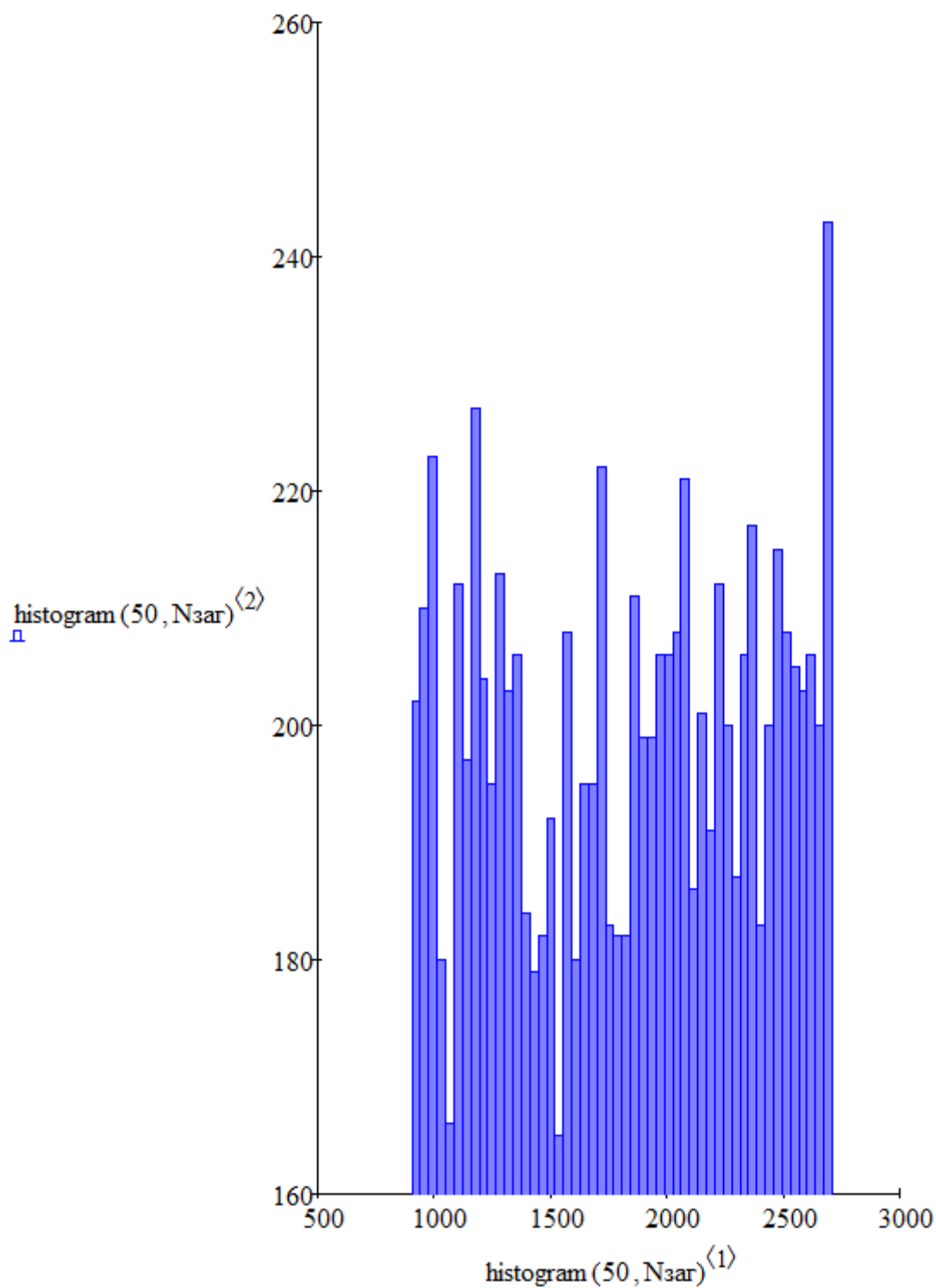


Рисунок 4. Вероятностная оценка количества прокатанных заготовок N_{zar}
До поломки вала, полученная по результату 1000 розыгрышей:
 $N_G := \text{runif}(1000, 10^6, 3 \cdot 10^6)$



*Рисунок 5. Гистограмма распределения частот случайной величины N_{zag} , по результату 1000 розыгрышей:
 $N_G := \text{runif}(1000, 10^6, 3 \cdot 10^6)$*

Эксперимент №2 – генерация нормального распределения N_G (рис. 6 – 9).

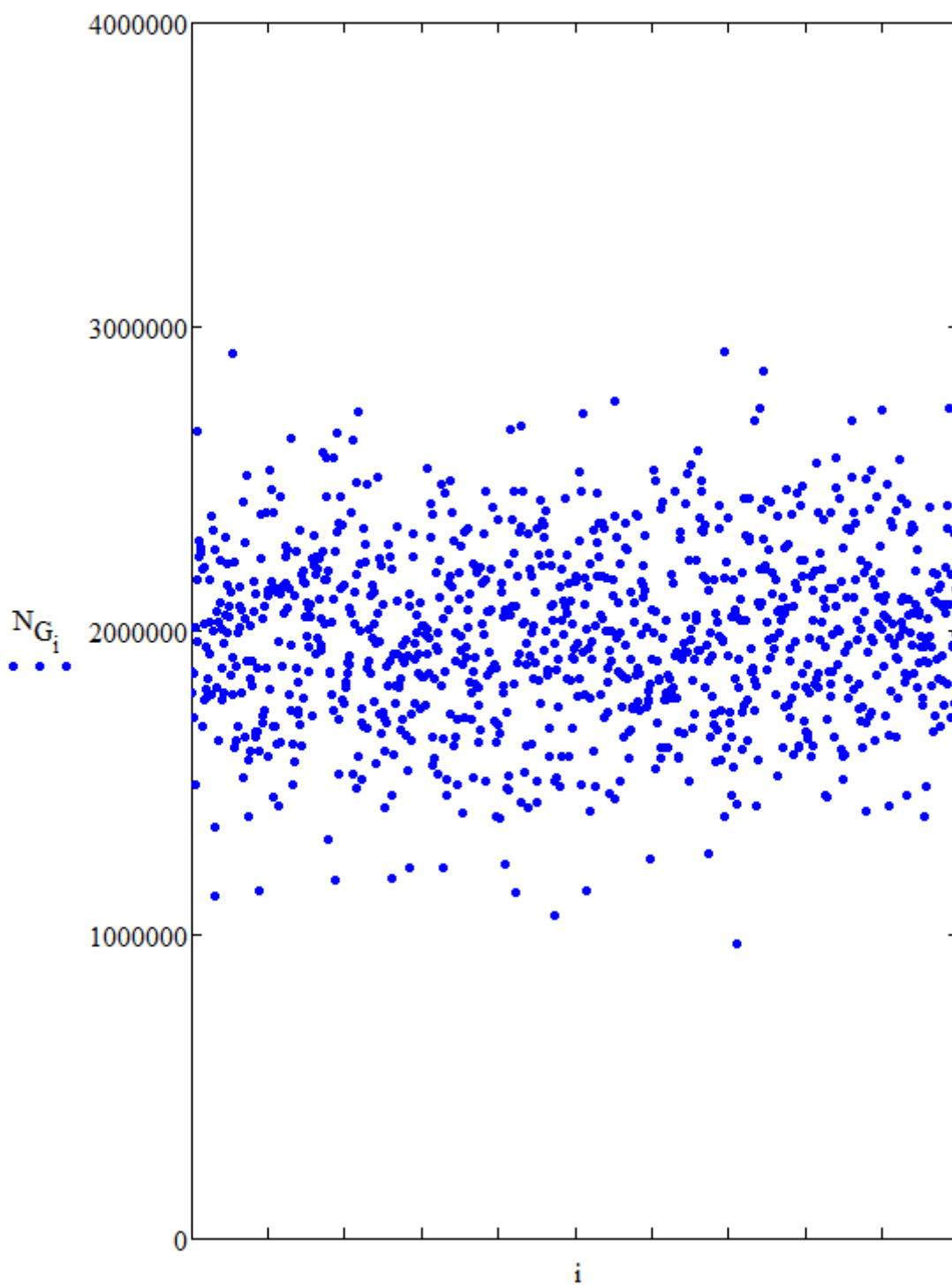
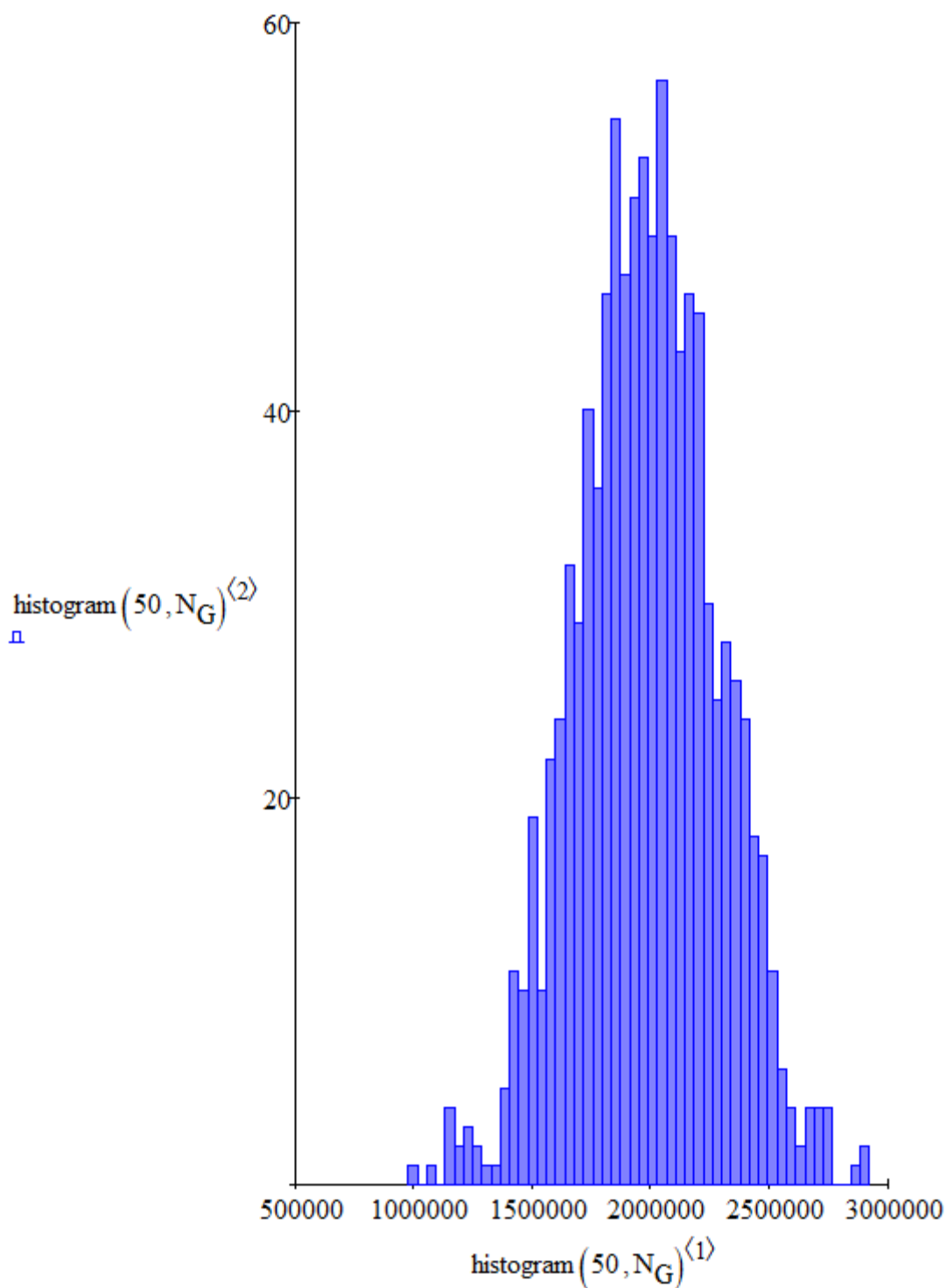


Рисунок 6. Результат 1000 розыгрышей случайной величины N_G , нормально распределенной со средним $2 \cdot 10^6$ и среднеквадратическим отклонением $0.3 \cdot 10^6$:
 $N_G := \text{rnorm}(1000, 2 \cdot 10^6, 0.3 \cdot 10^6)$



*Рисунок 7. Гистограмма распределения частот случайной величины N_G по результату 1000 розыгрышей:
 $N_G := \text{rnorm}(1000, 2 \cdot 10^6, 0.3 \cdot 10^6)$*

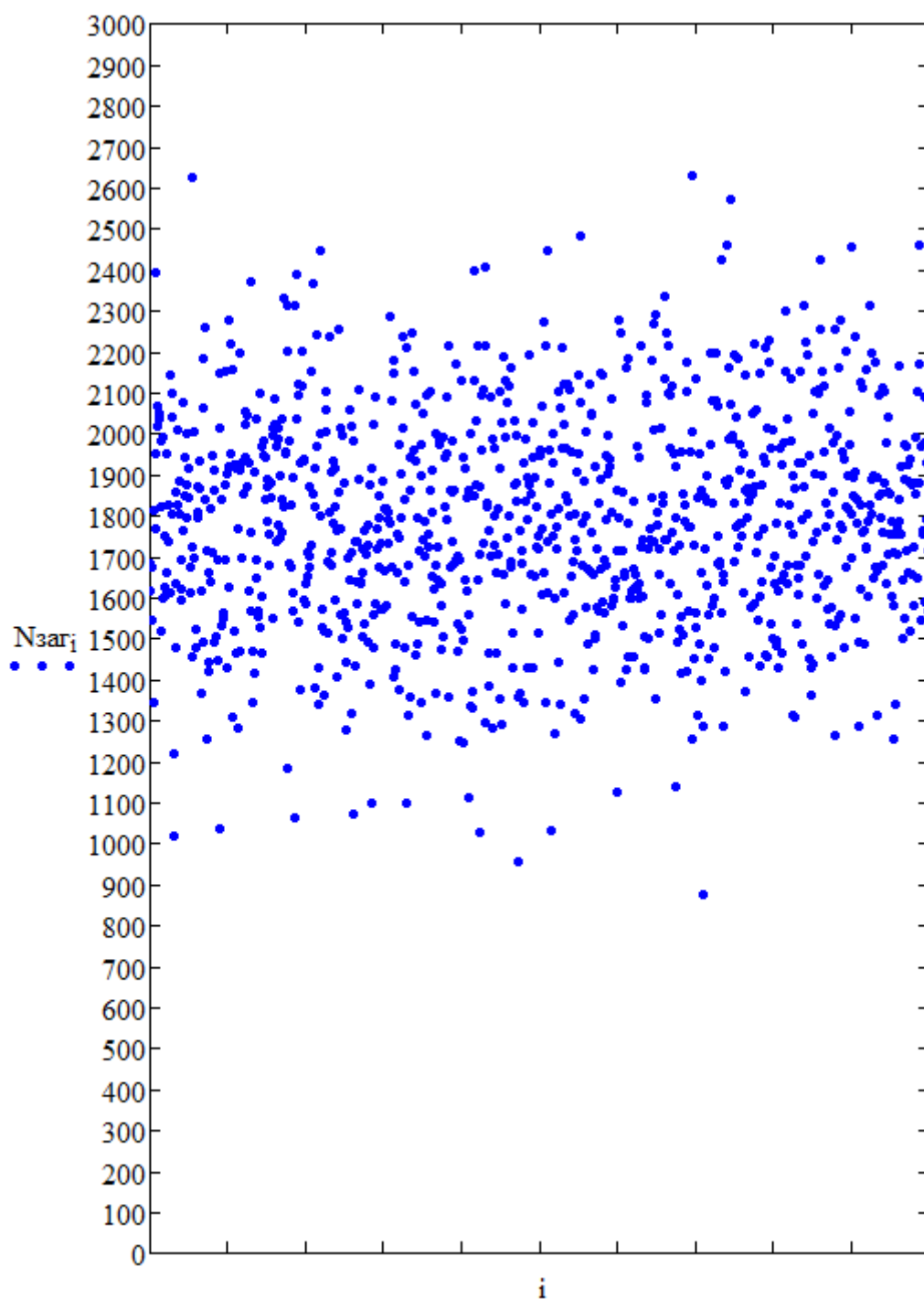


Рисунок 8. Вероятностная оценка количества прокатанных заготовок N_{zar} до поломки вала, полученная по результату 1000 розыгрышей:

$$N_G := \text{rnorm}(1000, 2 \cdot 10^6, 0.3 \cdot 10^6)$$

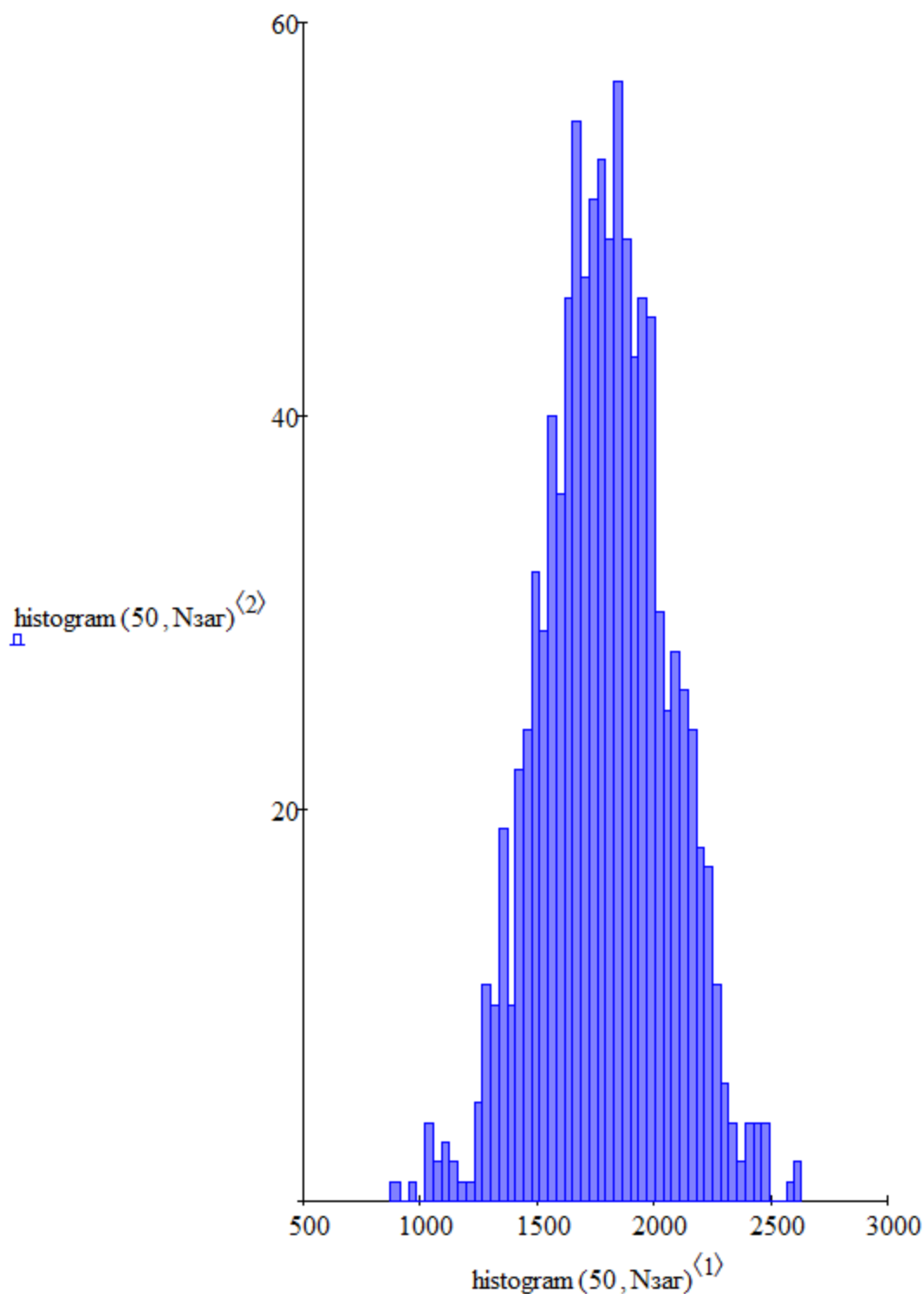


Рисунок 9. Гистограмма распределения частот случайной величины $N_{зар}$, по результату 1000 розыгрышей:

$$N_G := \text{rnorm}(1000, 2 \cdot 10^6, 0.3 \cdot 10^6)$$

Выводы

1. Методом Монте-Карло выполнено статистическое моделирование $N_{зар}$ (количества прокатанных заготовок до разрушения вала шпинделя в его опасном сечении) как при равномерном, так и при нормальном распределении случайной величины N_G (абсциссы точки перелома кривой усталости) – одного из трех параметров диаграммы Вёллера, входящих в расчетную формулу Когаева-Серенсена.

2. Оказалось, что циклический ресурс опасного сечения вала шпинделя ($N_{зар}$) имеет достаточно большой разброс – от 900 до 2700 штук заготовок, прокатанных до разрушения.

3. Статистическое моделирование $N_{зар}$ будет продолжено в направлении розыгрыша не только одной случайной величины N_G , но и всех других параметров, входящих в формулу Когаева-Серенсена, к которым относятся $\tau_{1сеч}$, m , τ_1 , τ_2 , τ_3 , τ_4 .

Список литературы

1. Мальцев А.А., Беляков Ю.И., Тарасенко И.А. Прогнозирование циклического ресурса вала электропривода металлургической машины по оцифрованной тензометрической осциллограмме. – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС), 2020, № 03. – С. 109 – 119. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-3-2020/a229909>.
2. Мальцев А.А., Тарасенко И.А. Цифровая обработка тензометрических данных с выявлением спектра напряжений в опасном сечении вала электропривода металлургической машины. – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС), 2020, № 02. – С. 69 – 79. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-2-2020/a229889>.
3. Мальцев А.А. Алгоритм цифровой обработки осциллограммы крутящего момента на валу электродвигателя автоматического стана. – [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС), 2020, № 01. – С. 107 – 117. – Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-01-2020/a229877>.

References

1. Maltsev A. A., Belyakov Yu. I., Tarasenko I. A. Forecasting the cyclic resource of the electric drive shaft of a metallurgical machine using a digitized tensometric oscillogram. – [Electronic resource] Original research (ORIS), 2020, No. 03. -- P. 109-119. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-3-2020/a229909> [in Russian].
2. Maltsev A. A., Tarasenko I. A. Digital processing of tensometric data with the detection of the stress spectrum in the dangerous section of the shaft of the electric drive of a metallurgical machine. – [Electronic resource] Original research (ORIS), 2020, No. 02. – Pp. 69-79. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-2-2020/a229889> [in Russian].
3. Maltsev A. A. Algorithm for digital processing of the torque oscillogram on the shaft of the automatic mill motor. - [Electronic resource] Original research (ORIS), 2020, No. 01. – Pp. 107-117. – Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2020-oris-01-2020/a229877> [in Russian].