

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

ФОРМО- И РАЗМЕРООБРАЗОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ  
ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ РЕЗАНИЕМ \*

Ф. М. МАНЖОС

Профессор, доктор технических наук

(Московский лесотехнический институт)

## Условия размеро- и формообразования

При обработке древесины резанием размер детали или ее элементов в общем случае определяется расстоянием от режущего лезвия инструмента до теоретической базы детали.

На рис. 1 показан простейший случай обработки снятием стружки элементарным резцом, причем рассматривается лишь бесконечно малый участок ширины лезвия. Размер  $y$  от лезвия  $O$  до базирующей линии  $xx$  является установочным. Степень соответствия его заданному номинальному размеру зависит от точности настройки станка, которая выполняется рабочим-наладчиком. Субъективные особенности рабочего-настройщика и ошибки контрольных измерений при наладке вносят при каждой настройке свою ошибку, поэтому погрешность, вносимая рабочим при наладке станка, не может быть постоянной. Так как погрешность, проистекающая вследствие неточности настройки, не подчиняется видимой функциональной закономерности, то ее следует считать случайной.

Мгновенный размер  $y$  сохраняет свое постоянство при движении резца по направлению  $V$  только при следующих условиях:

- а) абсолютное отсутствие нормальных к базе смещений лезвия резца  $O$  и смещений самой базы  $xx$ ;
- б) абсолютная параллельность теоретической базы  $xx$  и направления движения резца  $V$ ;
- в) абсолютная однородность физических свойств обрабатываемого материала.

Следует сразу же заметить, что указанные условия практически неосуществимы.

Смещение лезвия резца  $OO_1$  по нормали к поверхности обработки всегда имеет место, если, во-первых, недостаточна жесткость как резца, так и элементов станка, на котором он закреплен; во-вто-

\* Данная статья освещает первичные положения теории точности обработки древесины. В последующих статьях будет дано развитие общих положений.

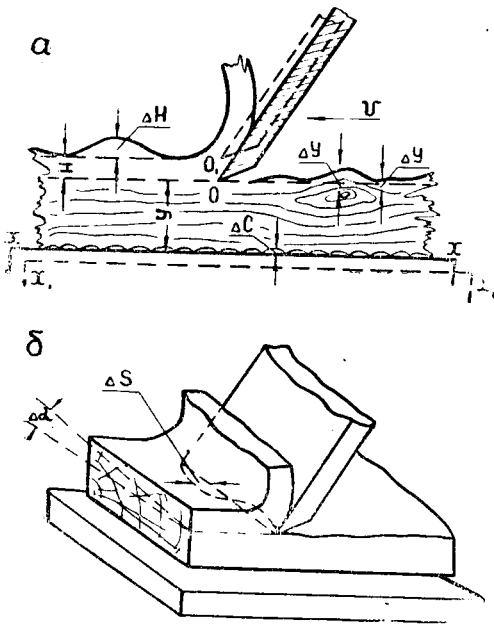


Рис. 1. Схема размеро- и формообразования процесса обработки детали на заданную толщину

*a* — по продольному профилю (*O* — лезвие резца; *OO'* — смещение лезвия от упругих сжатий, затупления или термического расширения; *xx* — базисуемая поверхность; *xx'* — величина смещения базисуемой поверхности от упругих и термических деформаций; *U* — направление движения резца; *H* — толщина стружки;  $\Delta H$  — приращение толщины стружки; *y* — установочный размер;  $\Delta y$  — упругое восстановление поверхности среза, зависящее от свойств древесины;  $\Delta C$  — величина смятия базисуемой поверхности детали).

*b* — при значительной ширине обработки ( $\Delta S$  — непрямолинейность лезвия;  $\Delta \alpha$  — непрямолинейность установки).

При этом нельзя не учитывать вторичного действия затупления лезвия, выражающегося в росте сил сопротивления резанию. Возрастание усилия резания приводит к увеличению отжатия резца и рабочего узла станка, вследствие их упругой деформации и, следовательно, увеличивает приращение  $\Delta y$  установочного размера *y*. Относительное смещение лезвия резца может происходить также вследствие нагревания инструмента в процессе резания. Нагрев резца обуславливает его термическое расширение *a*, следовательно и дополнительное приращение установочных размеров, различное в зависимости от условий процесса резания.

Смещения теоретической базы в процессе обработки могут произойти в связи с деформацией опорных, базисуемых обрабатываемую деталь, элементов станка, обусловленной действием сил резания или термическим расширением, а также вследствие деформации самой обрабатываемой детали.

Деформации *xx* элементов станка или приспособления, базисуемых обрабатываемую деталь, зависят от жесткости их, а также от величины нормальных составляющих сил резания. Так как последние постоянны по своей величине только при условии однородности обрабатываемого материала, неизменной остроте резца и толщине стружки, что практи-

рых, износ резца вызывает смещение режущей кромки резца, нормальное к линии базы.

При условии однородности обрабатываемого материала и постоянства толщины стружки *H*, указанные смещения будут иметь постоянную величину на протяжении всего процесса среза стружки, получая лишь первоначальное смещение по сравнению с заданным номинальным размером под действием сил сопротивления резанию.

Так как обрабатываемый материал практически не однороден, а толщина стружки в большинстве случаев при обработке резанием также непостоянна, то упругие деформации резца и рабочего узла станка, несущего резец, приведут к приращению размера *y* в процессе движения резца. При этом, чем выше жесткость резца и рабочего узла станка, чем однороднее обрабатываемый материал и чем неизменнее толщина стружки, тем меньше приращение размера *y*.

Функциональная зависимость, описывающая износ лезвия при затуплении в процессе обработки, определяет закон изменения размера *y*.

чески трудно достижимо, то и деформации базирующих поверхностей станка проявляются в связи с этим, как переменные величины на пути обработки. В этом случае также высокая жесткость элементов станка или приспособлений способствует снижению приращений (ошибок) установочного размера.

Деформация обрабатываемой детали в направлении, нормальном к теоретической базе, проявляется в форме прогиба детали, если деталь базируется не по всей базирующей поверхности, а также в форме смятия поверхностных слоев древесины, опирающихся на базирующие элементы станка или приспособления.

Величина нормальных деформаций поверхностного смятия древесины  $\Delta C$  зависит от величины нормальных удельных нагрузок на деталь, упругости древесины, а также микрогеометрии базируемой поверхности обрабатываемой деревянной детали.

Параллельность теоретической базы детали направлению движения резца является кинематическим понятием, так как связывает движущуюся точку лезвия  $O$  определенным заданным законом по отношению к некоторой линии теоретической базы.

Соблюдение указанного закона возможно при прямолинейности движения резца и параллельности теоретической базы движению суппорта, на котором закреплен резец.

Прямолинейность движения суппорта определяется степенью точности его направляющих, а параллельность движения зависит от геометрической точности относительного расположения в станке направляющих резцового суппорта и базирующей поверхности станка. В том случае, когда в станке деталь базируется на приспособление то параллельность движения резца теоретической базе зависит также от точности базирующего приспособления. Если же в станке предусмотрено настроечное регулирование взаимного положения базирующих элементов и резцового суппорта, то ошибка непараллельности всецело может считаться ошибкой настройки станка.

Неоднородность физических свойств древесины определяется ее волокнистым строением. Волокна древесины ориентированы в определенном направлении, но местные дефекты древесины в форме сучков, завитков, косослоя, волнистости, засмоленности и пр., располагающиеся без видимой закономерности на обрабатываемых деталях, характеризуют древесину как материал весьма неоднородный.

Опытом установлено, что при сверлении отверстий на разных участках одной доски усилие резания изменяется в пределах до 50% для сосны и до 20—25% для твердых пород древесины. Что касается сучков, то при их перерезывании рост усилия достигает 200—300% по сравнению с нормальными участками.

Неоднородность свойств древесины может влиять на точность обработки как непосредственно, так и косвенно.

Непосредственное влияние проявляется в форме неоднородного упругого восстановления  $\Delta u$  поверхности обработки. Это явление состоит в том, что после прохождения резца и среза им стружки, смятая поверхность среза поднимается на величину упругого смятия. Так как величина упругого восстановления зависит от свойств материала, то при его неоднородности размер  $u$  в разных сечениях не может быть одинаковым.

Косвенное влияние неоднородности древесины на размерообразование проявляется в изменении сил резания, что приводит к переменному воздействию сил на упругие элементы станка, инструмента, приспособления и на обрабатываемую деталь. В результате этого происходят

смещения лезвия и базирующих деталь элементов станка, а также деформации обрабатываемой детали путем упругого смятия на базах, или же в форме прогиба — в случае базирования на отдельных точках.

Если учесть, что лезвие резца имеет значительную ширину или же фасонный профиль, то погрешности обработки, рассматриваемые в другой координатной плоскости, будут определяться правильностью профиля обработки и ориентацией ножа по отношению к базе (рис. 1).

Правильность формообразования в процессе обработки зависит от точности профиля лезвия инструмента  $\Delta S$ , а ориентация обрабатываемой поверхности  $\Delta \alpha$  от ошибки настройки станка.

Станочная чистовая обработка детали из древесины чаще всего осуществляется применением сложных приемов резания (фрезерование, пиление и т. п.). При этом обработка поверхности производится путем последовательных срезов слоев древесины, а не единичным актом срезания стружки в один прием.

Режущий инструмент обычно осуществляет вращательное рабочее движение. В этом случае рассмотренные источники погрешностей сохраняют свое значение, однако появляется ряд дополнительных явлений, обуславливающих появление новых источников погрешностей. К таким явлениям следует отнести вибрацию инструмента и станка в целом, изменение условий мгновенного базирования детали при продвижении ее непосредственно по плите станка, обладающей собственными погрешностями, упругое смятие поверхности подающими вальцами, а также непостоянство скорости подачи обрабатываемой заготовки на станках с ручной подачей. Нормальные вибрации шпинделя и станка в целом обычно ухудшают чистоту обработки, то есть микрогеометрию обрабатываемых поверхностей и практически не имеют существенного значения в образовании размеров обрабатываемой детали.

#### **Источники погрешностей обработки в пределах протяженности единичной детали**

В рассматриваемом случае точность обработки обычно определяется величиной погрешностей одного или нескольких главных размеров детали, называемых контролируемыми размерами. Например, толщина детали или ее элемента измеряется либо только в одном среднем сечении, когда размеры детали невелики, либо измерения производятся в нескольких сечениях при значительных ее размерах.

Главные контролируемые размеры подвергаются измерению в процессе производства партий деталей. Погрешности остальных размеров, не имеющих столь важного значения, как контролируемые, исключаются сведением их до минимума в процессе настройки станка, выверкой станков, инструментов и приспособлений при их изготовлении и ремонте. Погрешности неконтролируемых размеров в процессе производства партий деталей возникают вследствие неправильности взаимного расположения элементов детали.

При обработке на станке единичной детали, или каждой отдельно рассматриваемой детали партии, ее размеры и форма определяются рассмотренными ранее факторами, из которых одни вносят практически несущественные погрешности, а другие играют определяющую роль в формировании размеров.

К несущественным факторам относятся затупление и нагрев резцов, неравномерность припуска, качество базирующей поверхности, нестабильность режима обработки, которые являются практически неизменными на пути обработки этой детали. В том случае, когда размер участка

обработки по направлению подачи невелик, например, у шипов, гнезд, отверстий, то к категории несущественных факторов следует дополнительно относить также упругие деформации инструмента станка и приспособления, зависящие от степени их жесткости, неоднородность свойства древесины и непостоянство режима резания в пределах ничтожной протяженности зоны обработки.

Таким образом, основными размерообразующими факторами при обработке каждой детали в пределах ее протяженности являются геометрические погрешности станка, инструмента, приспособлений и погрешности настройки, а при значительных размерах обрабатываемого элемента также жесткость системы, неоднородность свойств древесины, а в ряде случаев и нестабильность режима в пределах участка обработки.

### Источники погрешности обработки партии деталей

Если на предварительно настроенном станке выполнять обработку не одной детали, а последовательно целой партии, то точность обработки каждой детали в партии не остается постоянной.

Рассматривая источники погрешностей, обратим внимание на сохранение постоянства или изменения во времени их характеристик при обработке партии деталей.

На протяжении времени обработки партии деталей неизменной остается геометрическая точность основной схемы и жесткость узлов настроенного станка. В процессе длительной работы станка возможна его разладка в связи с ослаблением крепежных устройств, фиксирующих нормальное настроенное положение режущих и базирующих элементов. Разладка станка на протяжении обработки одной партии деталей обычно практически исключается конструктивно надежными стопорными устройствами. Только неисправные или грубые станки могут иметь указанную разладку. Если же она имеет место, то в процессе работы выполняется периодическая подналадка станка.

Необходимо также иметь в виду возможные изменения настроечных размеров станка в связи с температурными деформациями рабочих узлов (подшипники, шпиндели). При пуске холодного станка в течение 20—30 мин. происходит обогрев и приработка рабочих элементов станка. В этот промежуток времени температурные деформации в той или иной мере оказывают свое влияние на точность обработки группы деталей.

Режущий инструмент в процессе обработки партии деталей не меняет своей геометрической точности и жесткости, если по конструкции он изготовлен из материала, обладающего высокой жесткостью и практически не нагревается в процессе работы.

Часть режущих инструментов, например, пилы рамные, дисковые, конические и строгальные имеют малую собственную жесткость. Нагрев в процессе резания снижает жесткость инструмента. Снижение жесткости влечет за собой изменение величины погрешностей обработки партии деталей вплоть до установления стационарного температурного режима.

Наиболее значительное влияние на погрешности партии деталей оказывает затупление резцов вследствие как геометрического износа, так и повышения упругих деформаций системы «станок-деталь-инструмент» в связи с закономерным повышением сил резания, вызываемым затуплением резца.

Приспособления, как правило, не изменяют своих характеристик за период обработки партии деталей и поэтому не влияют на точность обработки партии. Косвенное влияние на размерообразование приспособ-

собление может иметь в случае засорения его базирующих поверхностей стружками или в случае интенсивного износа.

Полностью меняется характеристика каждой новой заготовки, поступающей в обработку. При этом изменяются механические характеристики материала в меньшей мере — жесткость детали; в операциях поверхностной обработки изменяется толщина снимаемого слоя (припуск), а также изменяется качество базы, то есть форма базирующей поверхности. Последнее приводит к непостоянству базирующей поверхности. А это, в свою очередь, влечет за собой непостоянство базирования партии деталей.

Наконец, рабочий-функционер также вносит непостоянство своего воздействия на каждую из деталей в партии. Допуская каждый раз новые ошибки базирования деталей и изменяя режим подачи на станках с ручной подачей, рабочий вносит тем самым неоднородность в размеры партии деталей. Кроме того, при контроле размеров в процессе работы, также неизбежна неточность измерений, что в ряде случаев приводит к необходимости дополнительных подналадок станка.

### Классификация погрешностей обработки и источников их происхождения

Первичные источники производственных погрешностей обработки определяются характеристиками станка, инструмента, приспособления, заготовки, а также зависят от квалификации рабочего. Ниже приводится классификация первичных источников, обуславливающих погрешности обработки (рис. 2).

По характеру получаемых погрешностей обработки партии деталей различают погрешности систематические и случайные.

Систематической погрешностью называется такая погрешность, которая для всех деталей обработанной партии остается постоянной или же закономерно изменяется во времени для каждой последующей обрабатываемой детали.

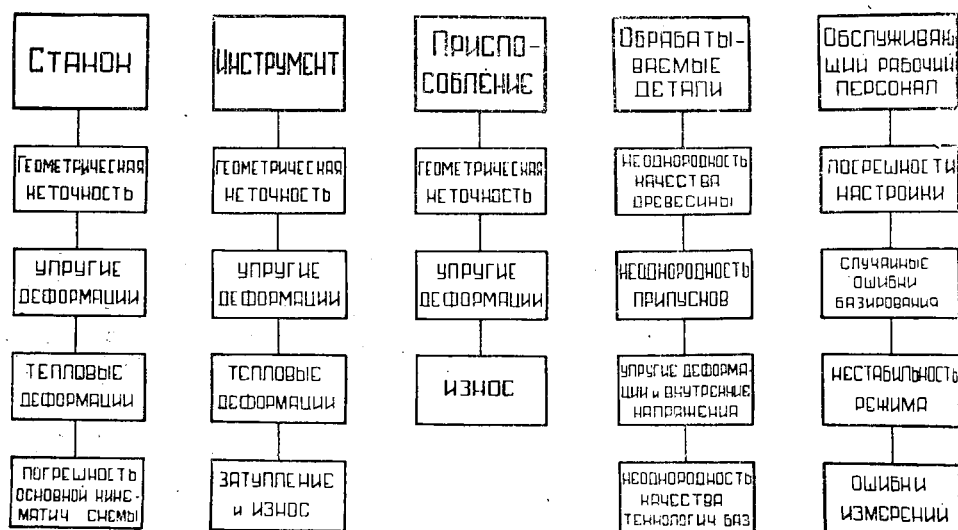


Рис. 2. Источники производственных погрешностей обработки древесины.

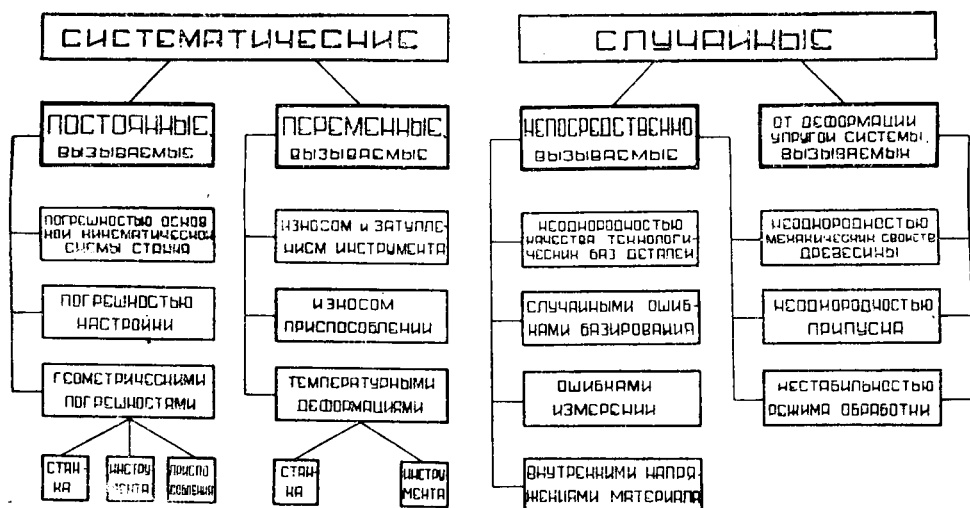


Рис. 3. Классификация погрешностей обработки древесины по их характеру и источникам происхождения.

Источниками постоянных систематических ошибок одной партии деталей являются факторы, непрерывно действующие и неизменные во времени. Сюда относятся геометрические неточности станка, инструмента и приспособления, неточности основной кинематической схемы, погрешности настройки станка.

К источникам систематических, но непрерывно изменяющихся по определенному закону погрешностей относятся:

- температурные деформации станка и инструмента;
- затупление резцов и износ приспособлений.

Случайные погрешности имеют различные значения для каждой детали обрабатываемой партии, при этом их появление не подчиняется никакой видимой закономерности.

Источниками их являются: неоднородность качества технологических баз деталей, случайные ошибки базирования, зависящие от рабочего, ошибки измерений, а также (что наиболее важно) неоднородность свойств древесины, непостоянство величин припуска и нестабильность режима обработки. Последние три фактора влияют как непосредственно, так и через деформации, определяемые жесткостью упругой системы «станок-инструмент-приспособление-деталь». Схема классификации погрешностей обработки по их характеру представлена на рис. 3.

Если рассматривать совокупность размеров деталей, обработанных на одном станке, но при различных его настройках или установке других экземпляров инструментов, то погрешности настройки и инструмента уже не будут источником систематической постоянной ошибки партии деталей, а перейдут в категорию случайных.

В случае, если партия одинаковых деталей обрабатывается в определенный период времени на разных станках, при различной настройке, различными рабочими, что имеет место в производстве, все источники погрешностей, строго говоря, являются случайными так же, как и погрешности обработки, ими вызываемые.

Чем больше рассматриваемая совокупность деталей, тем больше систематически действующих факторов переходит в категорию дающих

случайные погрешности. В пределе исчезают все систематические ошибки и имеют место только случайные.

В мелкосерийном производстве изделий из древесины, когда партия деталей обрабатывается на одном настроенном станке, доля систематических погрешностей и их величина одинакова для любой из деталей партии.

В производстве сериями средней величины часть операций по механической обработке деталей выполняется либо на одном, несколько раз настраиваемом станке, либо одновременно на нескольких станках, осуществляющих аналогичные операции. В этом случае в серии деталей происходит смешение нескольких партий деталей, полученных за одну установку станка. Чем крупнее производящаяся серия изделий, тем больше смешивается отдельных партий, полученных за одну установку станка; тем значимее доля случайных погрешностей.

Погрешности обработки классифицируются также в зависимости от нагрузки станка. В этом смысле различают:

- 1) погрешности, не зависящие от нагрузки;
- 2) погрешности, зависящие от нагрузки.

Первые погрешности определяют предельную наивысшую точность обработки на станке в условиях снятия самых тонких стружек, при практическом отсутствии влияния упругих деформаций системы, а, следовательно, неоднородности физических и механических качеств древесины, режима работы и затупления резцов.

Погрешности, не зависящие от нагрузки, определяются прежде всего геометрической неточностью станка, инструмента и приспособления, ошибкой настройки станка, а также частично ошибками контроля и неоднородностью базирования.

Погрешности, зависящие от нагрузки, определяются влиянием деформаций упругой системы и затупления инструмента. Полная погрешность обработки на станке за одну его настройку представляет сумму погрешностей, не зависящих от нагрузки и зависящих от нее.

### **О методе определения погрешностей обработки древесины**

В технологии механической обработки древесины используется принцип автоматического получения размеров на предварительно настроенном для обработки партии станке.

Изготовление деталей по промерам, как это имеет место в металлообработке при работе на универсальных токарных, строгальных и других станках, — почти отсутствует.

При фабрично-заводском изготовлении деревянных деталей имеют место редкие исключения. Так, например, на токарных универсальных станках работа ведется по промерам.

В связи с указанным обстоятельством, размерообразование обрабатываемой партии деталей осуществляется в условиях совместного воздействия всех источников погрешностей обработки, как систематических, так и случайных.

Систематические постоянные ошибки обработки, то есть ошибки, неизменно повторяющиеся в каждой последующей детали обрабатываемой партии, является результатом действия первичных ошибок в геометрии и кинематике станка, инструмента и приспособления, а также размерной настройки станка.

Постоянные систематические погрешности обработки находятся в определенной функциональной связи с первичными геометрическими и кинематическими ошибками станка, инструмента и приспособлений, но



найти аналитическое решение этой зависимости можно только в том случае, если известны как взаимные фазы первичных ошибок, так и соотношения величин этих ошибок.

Установить такую функцию с переменными параметрами в общем виде трудно. Точное решение в этом случае, вообще говоря, невозможно, так как функциональная ошибка становится неопределенной, и задача может быть разрешена лишь методом теории вероятности.

Систематические переменные погрешности повторяются в каждой последующей обрабатываемой детали, численно изменяясь во времени по определенному закону.

Закон изменения первичной переменной систематической погрешности может быть установлен эмпирически. Что же касается случайных ошибок, изменение которых не подчиняется никакой видимой закономерности, то их определение возможно только опытным путем, с последующим выяснением характера ошибок методом теории вероятности.

Случайное и закономерное изменение влияния первичных источников погрешностей в процессе обработки партии деталей приводит к рассеянию в определенных пределах размеров деталей обработанной партии. Систематические постоянные погрешности при этом, не влияя на величину и характер рассеяния размеров, лишь изменяют величину среднего значения.

Определение характеристик точности механической обработки не может базироваться на расчетно-аналитическом методе в связи с наличием случайных погрешностей, не поддающихся аналитическому расчету.

Статистическое определение погрешностей обработки неизбежно для выявления влияния многих, постоянно действующих, факторов случайного характера. Однако, статистический метод определения погрешностей ограничен в своих возможностях.

Результаты статистических исследований обычно констатируют факты и не дают прямых указаний о способах совершенствования технологии для снижения величины погрешностей обработки.

Получение обобщенных выводов или закономерностей требует весьма большого числа наблюдений. Тем не менее, на первом же этапе изучения вопроса о точности обработки изделий неизбежно использование статистического метода и лишь по мере расширения познаний в этой области представится возможность вначале сочетания статистического метода с расчетно-аналитическим методом, а в дальнейшем — все большее и большее освобождение от доли статистического метода в вопросе определения погрешностей.

Поступила в редакцию

11 октября 1957 г.