

Моделирование жесткости инструментальных систем станков для определения их влияния на точность обработки деталей

к.т.н. Пини Б.Е., Зиновьев Д.А.
МГТУ «МАМИ»

Одним из достоинств станков с ЧПУ является возможность достижения более высокой точности по сравнению с универсальными и специализированными станками за счет комплекса технических решений, реализуемых в их конструкциях. Одновременно обеспечивается высокая гибкость при переходе с одного изделия на другое, а широкие технологические возможности позволяют при высокой концентрации технологических операций обеспечивать существенное повышение производительности обработки.

Одной из тенденций в конструктивном исполнении станков токарной группы является решение по двухсторонней обработки деталей с использованием двухшпиндельной компоновки. Такое решение реализуется на станках с подвижным самозахватывающим шпинделем или станках с оппозитно установленными шпинделями с передачей деталей от шпинделя к шпинделю. В том и в другом случае обработка, как правило, осуществляется с использованием revolverных головок с комплексом обрабатывающих инструментов. Как показывает практика, использование такого рода станков эффективно в серийном и крупносерийном производствах. Это является основанием для использования подобных станков в подшипниковой промышленности.

При токарной обработке наружных и внутренних колец подшипников используется большое количество типов режущих инструментов применительно к каждой конструкции колец, поэтому не требуются магазины с большой емкостью. Вполне достаточно емкости revolverных головок. Однако кольца подшипников являются достаточно точными изделиями, поэтому даже на этапе токарной обработки необходимо обеспечить точность основных поверхностей в сотых долях миллиметра, что способствует более производительной финишной обработке. Повышение производительности токарной обработки при использовании современных инструментов с механически закрепленными режущими пластинами, имеющими износостойкие покрытия, обеспечивается форсированием режимов резания. Но в этом случае для обеспечения требуемой точности обработки необходимо повысить жесткость инструментальных узлов станков.

В частности, на наш взгляд, этому требованию отвечает инструментальные системы станков мод. ПАБ-160, фирмы «Веркон» (Украина), используемые на ОАО «Московский подшипник» (ГПЗ-1).

Станки мод. ПАБ-160 имеют инструментальный резцедержатель в виде жесткой платформы, установленной на крестовом столе, на которой закрепляется резцовый блок. Эту конструкцию сравним с revolverной головкой, размещенной на суппорте токарно-винторезного станка мод. 16К20Ф3. В качестве основного сравнительного параметра рассматриваем жесткость несущих систем. При этом с точки зрения точности обработки, представляет интерес смещение вершины режущего инструмента в направлении нормали к обрабатываемой поверхности, возникающее под действием силы резания вследствие собственных деформаций элементов инструментальной системы и контактных деформаций в соединениях. Жесткость соединений элементов характеризуется отношением нагрузки к соответствующим относительным перемещениям в стыке.

Конечно, при анализе представляет интерес рассмотрение не только статической, а и динамической жесткости несущей системы, т.е. жесткость системы с учетом возникновения колебаний, в том числе на частотах, соответствующих резонансным частотам системы, оказывающим влияние на качество обрабатываемых поверхностей. Но, так как динамическая жесткость определяется не только упругими, но инерционными и диссипативными ее свойствами, что трудно исследовать аналитически, проведем исследования и расчеты статической жесткости систем с точки зрения влияния на точность обработки жесткости несущих

инструментальных систем.

Для этой цели смоделируем узлы станков в программной среде SolidWorks и рассмотрим основные элементы инструментальной системы станка мод. ПАБ-160 и revolverной головки токарного станка традиционной компоновки мод. 16K20Ф3.

При исследовании модели суппортной группы станка ПАБ-160 рассмотрены следующие основные элементы, влияющие на жесткость системы:

- резцедержатель с пазами для установки сменных блоков 1;
- сменный блок для резцов 2;
- резец 3.

Каждый элемент создается в отдельном файле - деталь, затем создается новый файл - сборка, в который вводятся все элементы системы по очереди и связываются между собой.

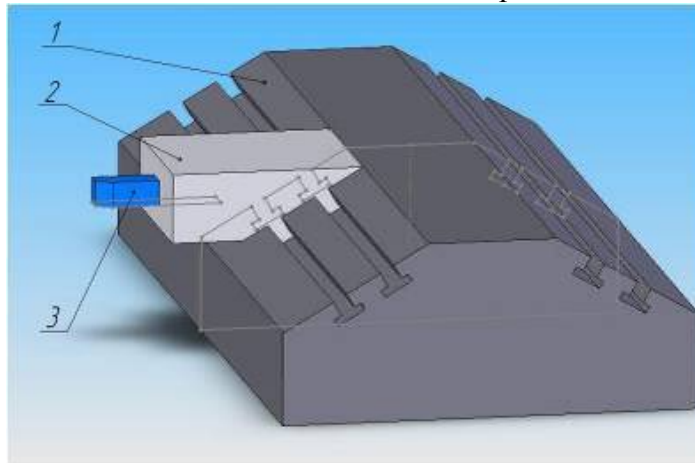


Рис. 1. Инструментальный комплекс станка ПАБ-160.

Для исследования объекта был использован интегрированный пакет COSMOSWorks. С помощью этого программного продукта можно построить эпюры статических перемещений. Для этого надо:

- выбрать материалы, из которых сделаны детали;
- определить величину, направление и место приложения силы;
- определить ограничения;
- определить контактные поверхности и свойства их контакта;
- создать сетку (используется МКЭ - метод конечных элементов);
- выполнить статический анализ.

После проделанных действий программа создает отчет с эпюрами (усилие сжатия, статическое перемещение, напряжение, деформация, проверка проектирования).

Для суппортной группы станка мод. ПАБ-160:

1. Выбираем материал деталей: сталь углеродистая.
2. Задаем силу, приложенную к режущей кромке резца перпендикулярно передней поверхности, в размере 1000 Н при вылете резца от точки защемления, равном 40мм.
3. На основание суппорта наложены ограничения - нижняя часть жестко закреплена (рис. 2).
4. Резец - сменный блок - суппорт связаны между собой без проникновения.
5. Создаем сетку на твердом теле (рис. 3).
6. Выполним статический анализ (рис. 4).
7. С помощью функции зондирования построим график статических перемещений (рис. 5).

На основании полученных результатов можно рассчитать статическую жесткость инструментального комплекса станка ПАБ-160.

Из эпюры видно, что максимальное перемещение имеет место на вершине резца и составляет $3,31 \cdot 10^{-5}$ метров. Последняя точка на графике соответствует точке контакта резцового суппорта со столом станка.

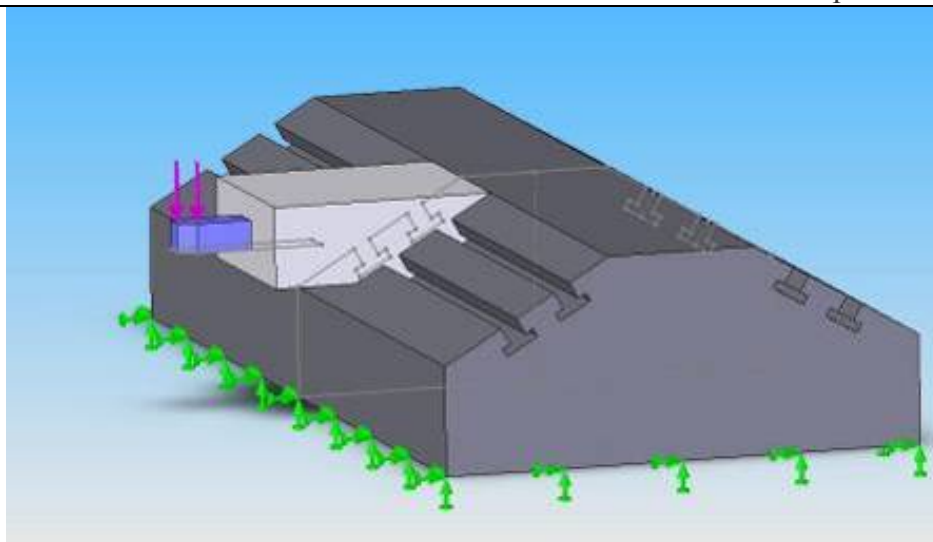


Рис. 2. Инструментальный комплекс с ограничениями и приложенной силой.

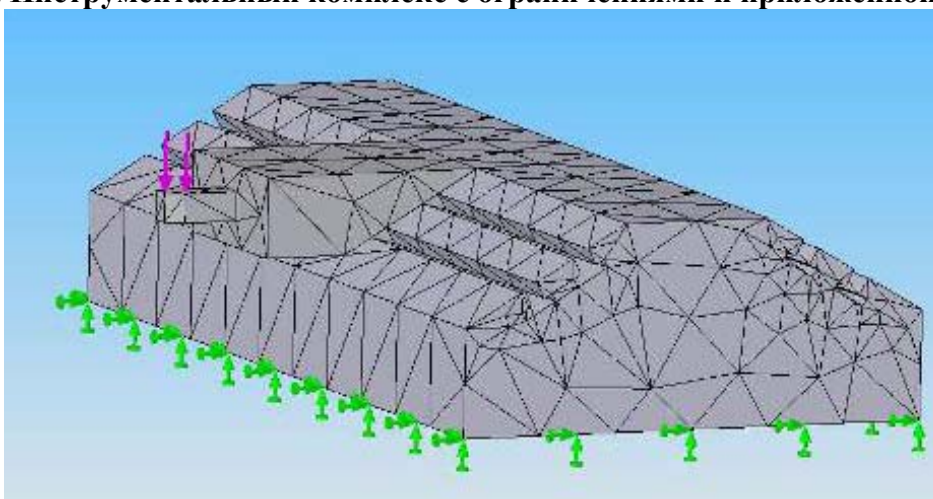


Рис. 3. Сетка на твердом теле.

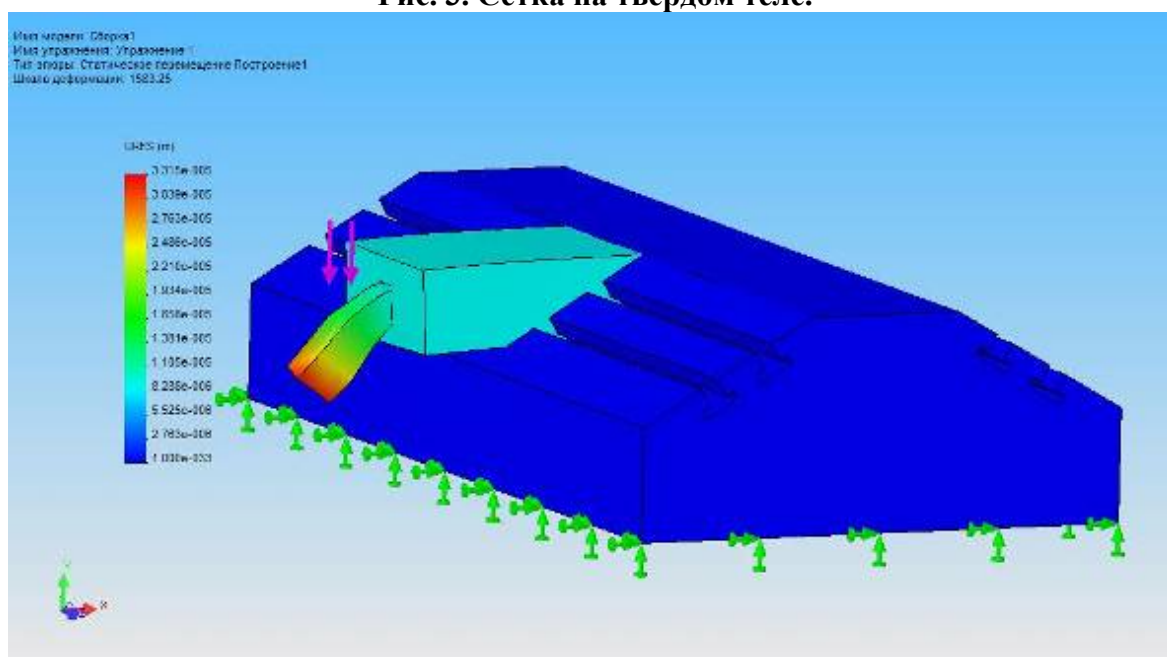


Рис. 4. Эпюра статических перемещений.



Рис. 5. График статических перемещений.

По формуле жесткости

$$j = \frac{P}{\sigma},$$

где: P – нагрузка в Н,

δ – величина деформации в мм.

$$j = 1000 / (3,31 \cdot 10^{-2}) = 30211 \text{ Н/мм.}$$

Аналогично создана и исследована модель револьверной головки токарного станка мод. 16K20Ф3 (рис. 6).

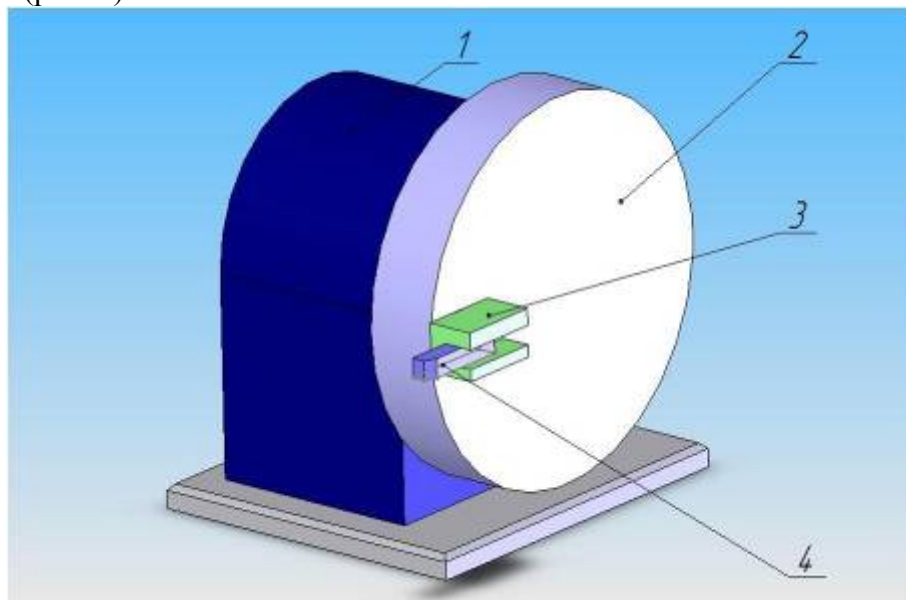


Рис. 6. Револьверная головка токарного станка.

Определяем основные элементы, входящие в конструкцию револьверной головки, которые влияют на жесткость системы в целом:

- корпус револьверной головки 1;

- револьверная головка 2;
- сменный блок 3;
- резец 4.

Создаем каждый элемент в отдельном файле - деталь, затем помещаем все детали в сборку. Собираем модель, привязывая элементы друг к другу.

Исследуем револьверную головку в программной среде COSMOSWorks. К узлу приложены такие же силы и ограничения, какие были приняты для суппортной группы станка мод.ПАБ-160. Это сделано, что бы проследить, как ведут себя эти системы при равных условиях исследования.

1. Выбираем материал деталей: сталь углеродистая.
2. Задана сила, приложенная к режущей кромке резца перпендикулярно передней поверхности, в размере 1000 Н.
3. На основание револьверной головки наложены ограничения - нижняя часть жестко закреплена (рис. 7).
4. Элементы: резец - сменный блок - револьверная головка - корпус револьверной головки - связаны между собой без проникновения. Вид револьверной головки с принятыми ограничениями и приложенной силой резания представлен на рис. 7.
5. Создаем сетку на твердом теле (рис. 8).
6. Выполняем статический анализ (рис. 9).
7. С помощью функции зондирования строим график статических перемещений (рис. 10).

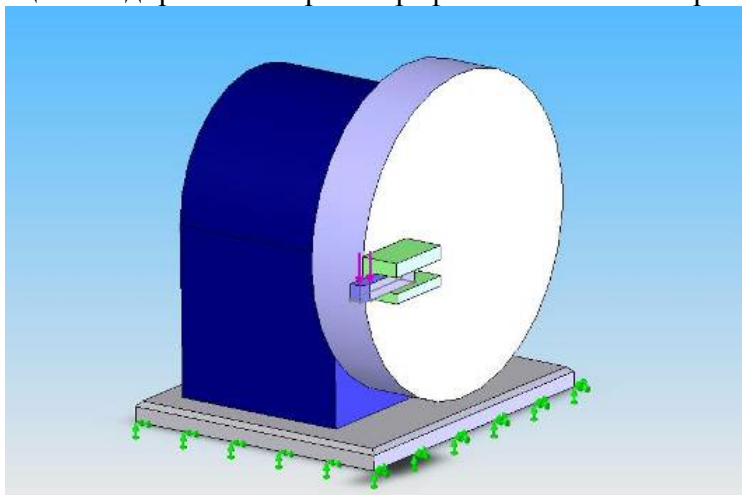


Рис. 7. Револьверная головка с ограничением и приложенной силой.

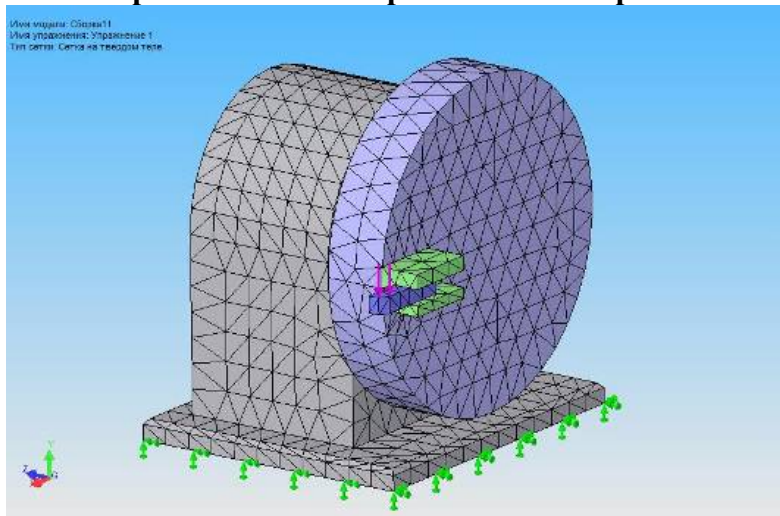


Рис. 8. Сетка на твердом теле.

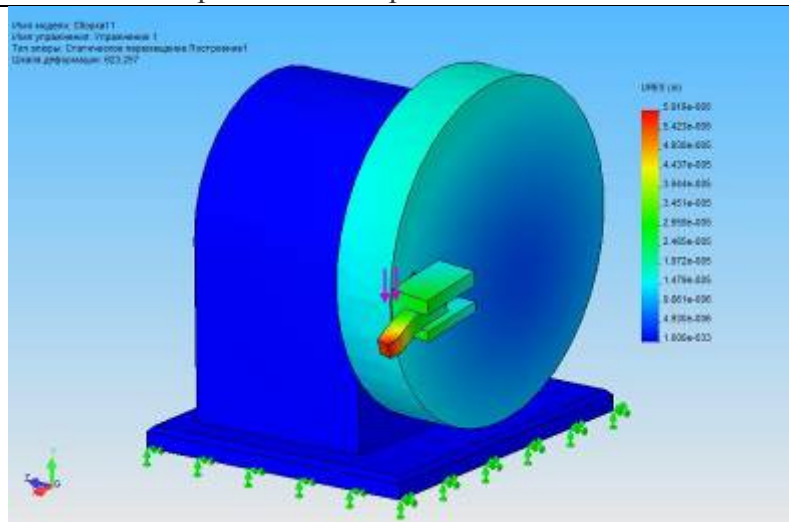


Рис. 9. Эпюра статических перемещений.

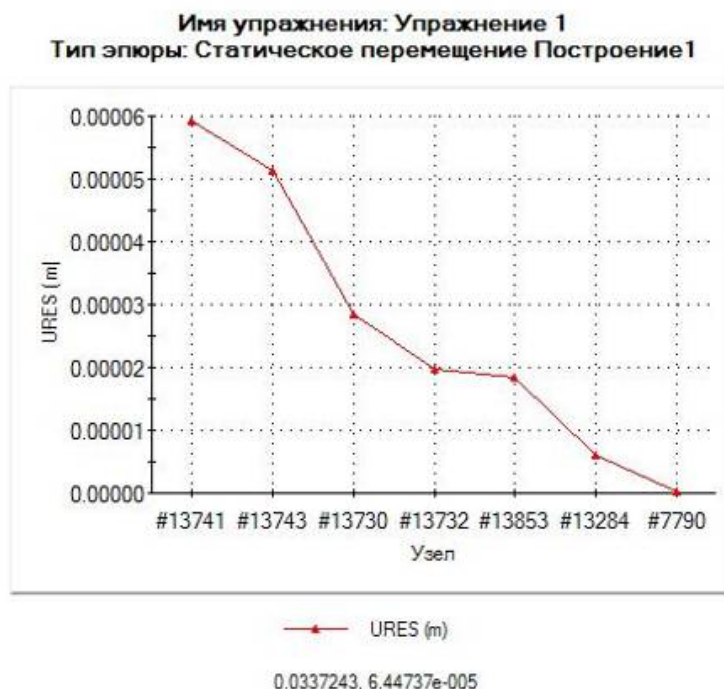


Рис.10. График статических перемещений.

Из эпюры видно, что максимальное перемещение оказывается на вершине резца и составляет $5,91 \cdot 10^{-5}$ метров. Последующие точки соответствуют смещениям в точках контакта конструктивных элементов револьверной головки.

На основании полученных результатов рассчитаем жесткость системы:

$$j = 1000 / 5,91 \cdot 10^{-2} = 16920 \text{ Н/мм.}$$

Таким образом, проведенный анализ показывает, что у револьверной головки станка мод. 16К20Ф3 смещение вершины режущего инструмента в плоскости, перпендикулярной основанию и проходящей через вершину резца, больше, чем у суппорта, базируемого на столе станка мод. ПАБ-160. Расчетные величины отклонений составляет $3,31 \cdot 10^{-5}$ м. у станка мод. ПАБ-160. У станка с револьверной головкой мод. 16К20Ф3 – $5,91 \cdot 10^{-5}$ м.

Выводы.

Аналогичный анализ может быть проведен с учетом рассмотрения других сил, воздействующих на резец в процессе обработки. Однако, учитывая их меньшие величины, можно

ограничиться проведенным моделированием. Оно, как и расчеты, убедительно показывает, что жесткость резцедержателя станка мод. ПАБ-160 значительно выше, чем у revolverной головки станка мод. 16K20Ф3, а полученные данные по смещению режущего инструмента вполне адекватно характеризуют возможность обеспечения более высокой точности обработки на станке мод. ПАБ-160 при одинаковых условиях в сравнении со станком мод. 16K20Ф3. Подобное моделирование целесообразно осуществлять при решении практических задач по выбору оборудования для обработки точных деталей. При замене традиционно используемого оборудования типа станков мод. 16K20Ф3 на станки с более жесткими инструментальными комплексами можно повысить производительность обработки за счет более высоких режимов резания.

Профиль скорости в окне ячейки полишаровой среды (адаптированная модели стокового обтекания шара)

д.т.н., проф., Сандуляк А.В., к.т.н., доц., Сандуляк А.А., к.т.н. Ершова В.А.
МГТУ «МАМИ»

Функциональный вид профиля скорости (по опытным данным).

Изучение профиля скорости потока между гранулами (зернами), например шарами, пористой среды справедливо считается сложной и теоретической и, к сожалению, экспериментальной задачей. Так, для получения прямых опытных данных скорости практически непригодными оказываются любые контактные датчики: уже само наличие датчика искажает истинную картину потока и обуславливает значительную погрешность данных. При этом, естественно, она значительно увеличивается при размещении датчика у поверхности шаров и в узких клинообразных зазорах между шарами, особенно в окрестности точек их контакта.

Таких недостатков лишены бесконтактные методы измерения скорости потока, в частности, метод с использованием лазерного доплеровского измерителя скорости [1, 2]. А возникающие при его применении некоторые сложности, связанные с отклонением лазерного луча от криволинейной поверхности, устраняются за счет подбора жидкости и материала шаров (в частности, стеклянных) с одинаковыми показателями преломления [1].

В [1] приведены полученные именно таким методом многочисленные экспериментальные данные скорости жидкости u в окне между контактирующими шарами радиуса R в кубической упаковке шаров (как показывает соответствующий анализ при ламинарном течении¹, не выходящем за пределы применимости закона Дарси, когда роль инерционных эффектов пренебрежимо мала).

Скорость u измерялась в точках, находящихся на (около) диагонали окна (рис. 1), в данном случае «четырехугольного» (применительно к структуре дробных ячеек полишаровой среды – на входе в так называемую дробную ячейку этой среды [3]).

Значения скорости u получены в различных «диагональных» точках, находящихся на расстоянии \tilde{r} от точки контакта шаров радиуса R , взятой за начало координат, для разных окон (и разных диагоналей) [1]. При этом имелась возможность находить относительную скорость u/u_{\max} точек потока, где u_{\max} – скорость в центре окна (при $\tilde{r} = \tilde{r}_{\max} = R$).

Для выявления соответствующих функциональных связей весь объем полученных в [1]

¹ Эти данные получены при числах Рейнольдса 100...300 [1], вычисленных по таким параметрам, как диаметр шара и скорость жидкости в окне. Разумеется, другие возможные (и часто практикуемые) варианты расчета чисел Рейнольдса – по скорости набегающего потока (скорости фильтрации) и диаметру шара, по средней скорости в порах и среднему диаметру пор и пр. – дают совершенно иные числа. Они, конечно же, поддаются взаимному пересчету; один из них приводится ниже: для сопоставления упомянутого числа с соответствующим предельным (критическим) числом Рейнольдса. Но надо сказать, что ни один из используемых (различными авторами) вариантов не может выступать в качестве эквивалентного, например, для сопоставления с «одновариантными» числами Рейнольдса при течении жидкости в трубе, при обтекании уединенного шара и др.