

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ ДВИЖЕНИЮ ТЕЛА

**А.С. Павлюк, А.С. Баранов, А.В. Собачкин**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

*В данной статье рассмотрены существующие способы для определения сопротивления среды движению тела. Представлены более совершенные способы. Результаты могут быть использованы в исследовании динамики движения транспортных средств и сельскохозяйственных машин.*

**Ключевые слова:** сопротивление движению среды, конструкция, рабочие органы, аэродинамика, совершенствование

## IMPROVING THE DEVICES FOR DETERMINING RESISTANCE OF ENVIRONMENT TO BODY MOTION

**A.S. Pavlyuk, A.S. Baranov, A.V. Sobachkin**

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul

*In this article, existing methods for determining the resistance of the environment to the motion of the body are considered. More advanced ways are presented. The results can be used to study the dynamics of the movement of vehicles and agricultural machinery.*

**Keywords:** resistance of environment, construction, working parts, aerodynamics, improving

### Введение

В автомобилестроении и в сельском хозяйстве часто бывает необходимо определить сопротивление среды движению тела. В связи с этим существуют следующие стенды.

Устройство [1] используется для определения сопротивления и степени износа почвообрабатывающих рабочих органов, изображено на рисунке 1.

Данное устройство содержит вращающийся вертикальный вал с кольцевым желобом, заполненным почвой, и кронштейн для крепления испытуемого тела – почвообрабатывающего рабочего органа. Также устройство содержит блок приспособлений для обработки почвы и приспособление для уплотнения и перемещения почвы. Кронштейн соединен с испытуемым телом через тензометрическое устройство. Испытуемое тело перемещается в среде за счет вращения вертикального вала.

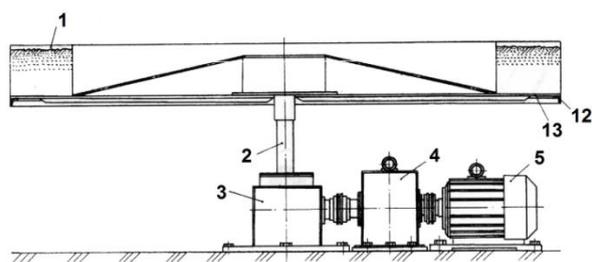
Достоинствами этого стенда является возможность исследования в лабораторных условиях различных типов почв и проведение в них испытаний рабочих органов сельскохозяйственных машин, а также потребность небольшого пространства для проведения эксперимента.

Основными недостатками устройства для определения сопротивления и степени износа почвообрабатывающих рабочих органов являются повышенная трудоемкость измерений, так как для получения конечных результатов необходима соответствующая подготовка почвы посредством приспособлений, а также узкие возможности осуществления экспериментальных исследований, связанные с характером среды.

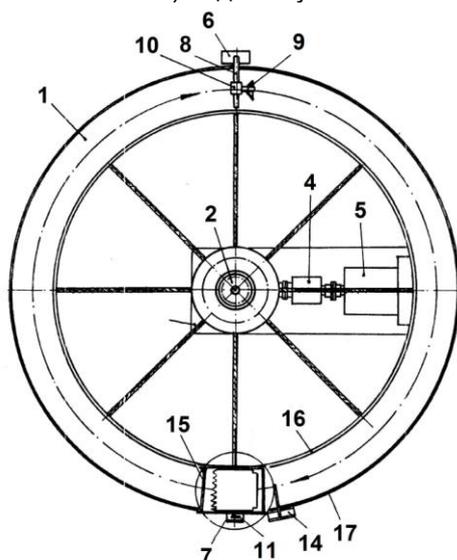
Прибор [2] для определения коэффициента лобового сопротивления исследуемого тела, изображенный на рисунке 2, который включает в себя эталонное тело, выполненное в виде пластины и соединенное с исследуемым телом таким образом, что воспринимает продольную составляющую аэродинамической силы.

Другим прибором для определения аэродинамического сопротивления является прибор [3] для измерения силы сопротивления движению тела при падении, представленный на рисунке 3. В конструкцию этого прибора входит вертикальная направляющая 1, по которой движется падающее тело. Назначение этой направляющей – обеспечить возможность направленного движения исследуемого тела в пространстве. Также прибор содержит два измерительных устрой-

ства 2, которые выполнены в виде пружинных динамометров, и к которым крепится исследуемое тело и эталонное тело с малым коэффициентом обтекаемости. Для фиксации показаний в конструкцию стенда введены вращающиеся при падении барабаны 3 и пишущие устройства 4. В нижней части проволоки выполнено утолщение для предотвращения столкновения движущихся частей прибора с землей 5. Высота, с которой падает данная конструкция, составляет 115 м.



а) вид сбоку



б) вид сверху

Рисунок 1 – Устройство для определения сопротивления и степени износа почвообрабатывающих рабочих органов: 1 – кольцевой почвенный канал; 2 – вертикальный вал привода; 3- угловой конический редуктор; 4 – многоступенчатый цилиндрический редуктор; 5 – электродвигатель; 6,7- стойки; 8 – горизонтальная радиально-направленная балка; 9 – испытуемый рабочий орган; 10 - тензометрическое звено; 11 – опорный ролик; 12 – кольцевая шина; 13 – днище почвенного канала; 14 – Г-образный кронштейн; 15 – опорная тележка; 16,17 – направляющие почвенного канала

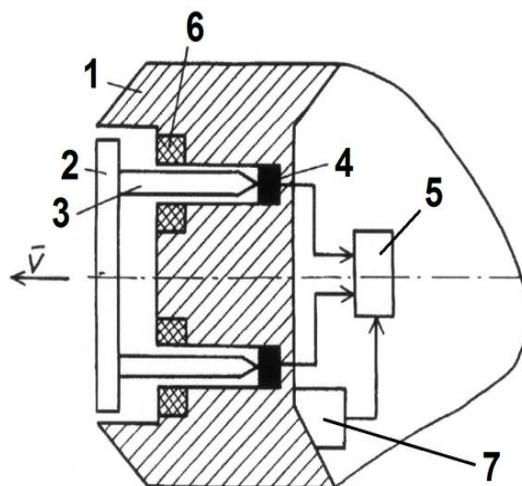


Рисунок 2 - Прибор для определения коэффициента лобового сопротивления исследуемого тела: 1 – исследуемое тело; 2 – эталонное тело; 3 – механическая связь; 4 – измеритель силы; 5 – вычислительное устройство; 6 – арретир; 7 – акселерометр

Достоинством данной конструкции является простота проведения эксперимента, так как не требуется создание специальных условий и специальных навыков для получения результатов. Основным недостатком данного прибора являются повышенная трудоемкость измерений, низкая точность и достоверность определения силы сопротивления среды, а также узкие функциональные возможности вследствие обеспечения измерения только воздушного сопротивления.

С помощью уменьшения недостатков перечисленных выше конструкций, в АлтГТУ был разработан ряд устройств.

Конструкция стенда [4] для определения сопротивления среды движению тела, представлена на рисунках 5(а), 5(б). В результате применения разработанной конструкции снижается трудоемкость определения силы сопротивления среды движению тела и расширяются условия экспериментальных исследований.

Отличительной особенностью данной конструкции является то, что содержащийся в стенде кронштейн, установленный радиально относительно центра вращения вала, жестко закреплен на вращающемся вертикальном валу, и стенд может быть снабжен устройством, изменяющим расстояние от испытуемого тела до центра вращения вала.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ ДВИЖЕНИЮ ТЕЛА

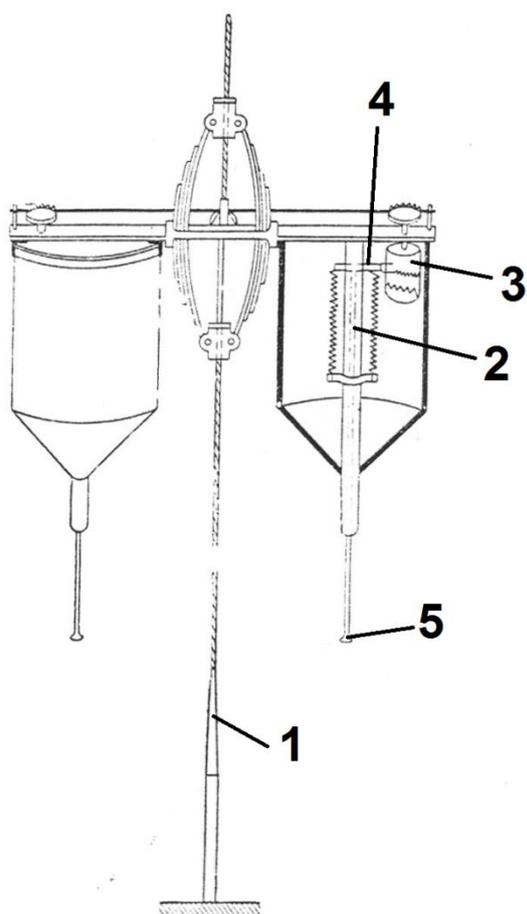


Рисунок 3 – Прибор Эйфеля для измерения сопротивления тела при падении: 1 – вертикальная направляющая; 2 – измерительное устройство; 3 – барабан; 4 – пишущее устройство; 5 – утолщение для предотвращения столкновения движущихся частей прибора с землей

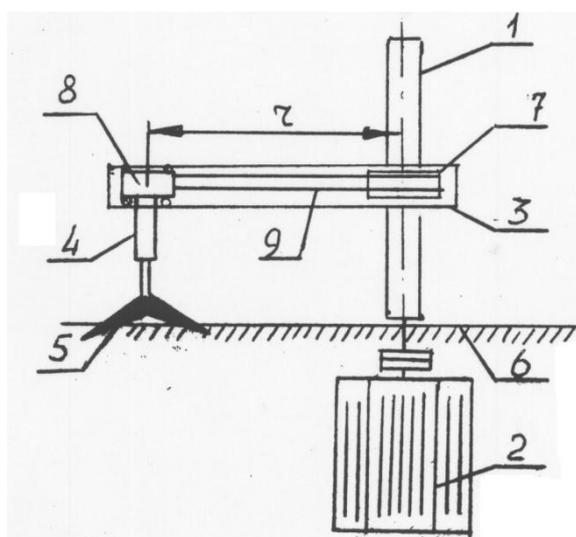
Устройство, изменяющее расстояние от испытуемого тела до центра вращения вала, может быть выполнено в виде шкива, концентрично установленного и жестко закрепленного на валу. Соединение шкива с блоком, связанным с испытуемым телом, выполнено гибкой связью. Блок установлен на кронштейне с возможностью перемещения вдоль него.

Стенд для определения сопротивления среды движению тела содержит вертикальный вал 1, приводимый во вращение двигателем 2. Кронштейн 3 установлен радиально относительно центра вращения вала 1 и жестко закреплен на этом валу. Кронштейн 3 связан посредством тензометрического устройства 4, выполненного в виде стойки с тензодатчиками, с испытуемым телом 5. Испытуемое тело 5 помещается в твердую, жидкую или газообразную среду 6 с возмож-

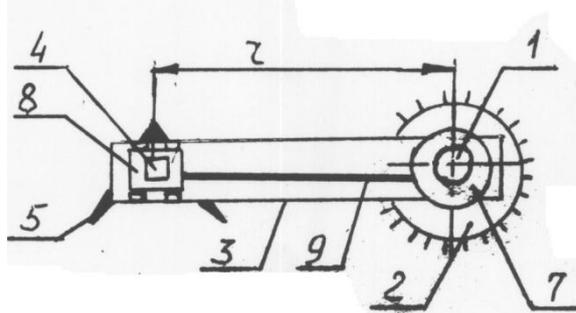
ностью перемещения относительно нее за счет вращения вала 1 относительно центра.

Также стенд может быть снабжен устройством, изменяющим расстояние от испытуемого тела до центра вращения вала. Это устройство может быть выполнено в виде шкива 7. Шкив концентрично установлен и жестко закреплен на вертикальном валу 1. Блок 8 соединен гибкой связью, например, тросом 9, со шкивом 7 и обладает возможностью перемещения вдоль кронштейна 3 посредством направляющих (на рисунке не показаны), установленных, например, внутри кронштейна 3.

Кроме этого, на рисунках 5(а) и 5(б) дополнительно показано изменяющееся расстояние  $r$  от центра вращения вертикального вала 1 до испытуемого тела 5.



а) вид сбоку



б) вид сверху

Рисунок 5 – Стенд для определения сопротивления среды движению тела: 1 – вертикальный вал; 2 – двигатель; 3 – кронштейн; 4 – тензометрическое устройство; 5 – испытуемое тело; 6 – исследуемая среда; 7 – шкив; 8 – блок; 9 – трос

Работа стенда осуществляется следующим образом. Двигатель 3 начинает вращать вертикальный вал 1 вместе с закрепленным на нем кронштейном 3. Это движение передается испытуемому телу 5, сообщая ему круговое движение в твердой, жидкой или газообразной среде 6, на расстоянии  $r$  от центра вращения вала 1.

При использовании в стенде устройства, изменяющего расстояние от испытуемого тела до центра вращения вала, трос 9 наматывается на шкив 7, притягивая блок 8 по направляющим к центру вращения вала 1, вследствие чего расстояние  $r$  от центра вращения вала 1 до испытуемого тела 5 постепенно уменьшается, и испытуемое тело 5 движется по спирали каждый раз в невозмущенной среде.

Чтобы определить расстояние  $r$ , необходимое для получения достоверных экспериментальных данных, требуется сделать допущение о том, что условием получения достоверных данных является относительная разность скоростей движения крайних точек испытуемого рабочего органа, не превышающая 5%. Это условие можно записать следующим образом:

$$\frac{v_1 - v_2}{v_2} \leq 0,05,$$

где  $v_1$  – скорость крайней внешней точки испытуемого рабочего органа;

$v_2$  – скорость крайней внутренней точки испытуемого рабочего органа.

$$v_1 = \omega \cdot r_1;$$

$$v_2 = \omega \cdot r_2;$$

где  $\omega$  - угловая скорость движения испытуемого рабочего органа,

$r_1$  и  $r_2$  - расстояния от оси вращения соответственно до внешней и внутренней точек испытуемого рабочего органа. Следовательно,

$$\frac{r_1 - r_2}{r_2} \leq 0,05; \quad r_1 = r + \frac{b}{2}; \quad r_2 = r - \frac{b}{2},$$

где  $r$  – расстояние от оси вращения стенда до точки крепления рабочего органа;  $b$  – ширина захвата рабочего органа.

$$\frac{r + \frac{b}{2} - (r - \frac{b}{2})}{r - \frac{b}{2}} \leq 0,05,$$

Отсюда следует, что

$$r \geq 20,5 \cdot b,$$

Таким образом, расстояние от оси вращения стенда до места крепления рабочего

органа на момент начала проведения испытаний должно составлять не менее 20,5 величин ширины захвата испытуемого рабочего органа.

Силы сопротивления среды, действующие на испытуемое тело 5, передаются тензометрическому устройству 4 и регистрируются посредством тензодатчиков.

Следовательно, использование предлагаемой конструкции стенда по сравнению с рассмотренными выше обеспечивает снижение трудоемкости определения силы сопротивления среды движению испытуемого тела, а также расширение условий экспериментальных исследований.

Также для исследования воздействия среды на движущееся тело разработана конструкция стенда для определения силы сопротивления среды движению тела [5]. В нее входит жестко закрепленная вертикальная направляющая для обеспечения направленного движения исследуемого тела в пространстве. Измерительное устройство представляет собой динамометр, расположенный в нижней части стенда. Конструкция стенда имеет два варианта. В первый вариант стенда входит емкость с песком. Конструкция стенда во втором варианте содержит резервуар, предназначенный для размещения среды и исследуемого тела. В нижней части резервуара помещен песок, выполняющий функцию вещества, поглощающего энергию удара падающего тела.

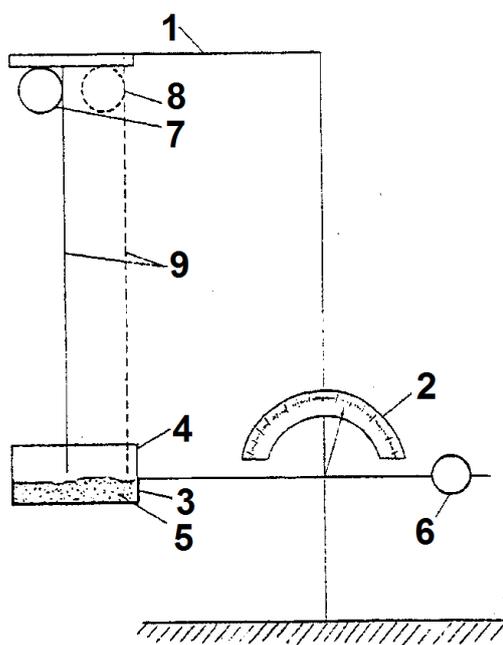
Исследования с помощью этого стенда можно проводить в лабораторных условиях.

Точность результатов обеспечивается вследствие измерения и сравнения полной энергии исследуемого и эталонного падающих тел в воздушной среде в первом варианте, исследуемого падающего тела в сплошной среде и в безвоздушном пространстве во втором варианте.

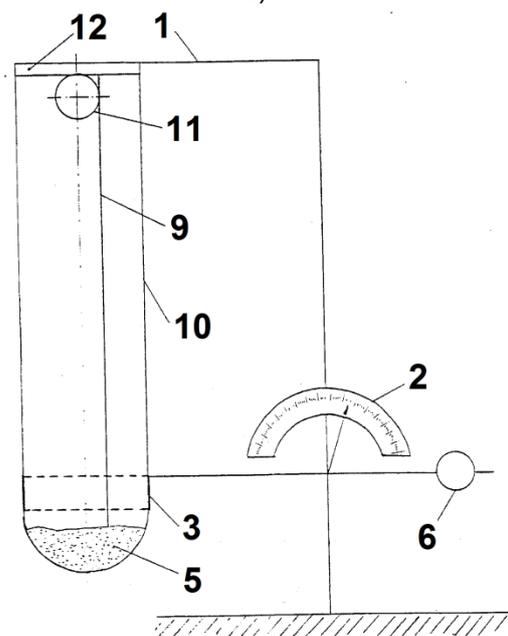
В резервуаре можно размещать различные сплошные среды для определения сопротивления этих сред движению исследуемого тела.

Общий вид стенда для определения силы сопротивления среды движению тела, снабженного емкостью (первый вариант стенда), изображен на рисунке 6 (а). На рисунке 6 (б) – общий вид стенда для определения силы сопротивления среды движению тела, снабженного резервуаром (второй вариант стенда).

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ ДВИЖЕНИЮ ТЕЛА



а)



б)

Рисунок 6 – Стенд для определения силы сопротивления среды движению тела: 1 – штатив; 2 – весы; 3 – чаша весов; 4 – емкость; 5 – песок; 6 – балансир; 7 – исследуемое тело; 8 – эталонное тело; 9 – направляющая; 10 – резервуар; 11 – исследуемое тело; 12 – механизм закрепления

Стенд для определения силы сопротивления среды движению тела по первому варианту содержит штатив 1. На штативе уста-

новлено динамометрическое устройство, выполненное в виде весов 2. На чаше весов 3 размещена емкость 4. В этой емкости помещен песок 5. Весы 2 уравновешены с помощью регулируемого балансира 6. Кроме этого, в конструкцию стенда входит жестко закрепленная в верхней части стенда направляющая 9 для обеспечения направленного движения исследуемого тела в пространстве. Исследуемое тело 7 и эталонное тело 8 вводятся в стенд непосредственно при определении силы сопротивления среды. При этом в качестве среды используется воздух, то есть определяется воздушное сопротивление движению тела.

Стенд для определения силы сопротивления среды движению тела, выполненный по первому варианту, работает следующим образом. На чашу 3 весов 2 помещается и закрепляется емкость 4 с песком 5. Весы 3 уравновешиваются с помощью балансира 6. Сначала от верха стенда под действием силы тяжести перемещается вниз в емкость 4 по направляющей 9 исследуемое тело 7 и отмечается показание стрелки весов 2. Затем так же опускается эталонное тело 8, равное по массе исследуемому телу 7, которое имеет минимальный коэффициент обтекаемости, и так же отмечается показание стрелки весов 2. Фиксация показаний весов 2 может быть осуществлена с помощью флажков. Разница в показаниях стрелки весов 2 соответствует силе сопротивления воздуха.

Конструкция стенда по второму варианту отличается от конструкции стенда по первому варианту тем, что вместо емкости с песком в стенд вводится резервуар 10, который предназначен для размещения исследуемого тела 11 и любой сплошной среды. Для закрепления исследуемого тела 11 используется механизм 12, в качестве которого может быть использован электромагнит. При использовании конструкции стенда по второму варианту осуществляется измерение силы сопротивления движению тела какой-либо сплошной среды, отличной от воздуха.

Стенд, выполненный по второму варианту, работает следующим образом. При определении силы сопротивления какой-либо сплошной среды движению тела на чаше 3 весов 2 закрепляется резервуар 10 с песком 5. В резервуар 10 помещается какая-либо сплошная среда. Исследуемое тело 11 помещается в резервуар 10 и закрепляется в верхней его части механизмом 12. После чего весы 2 уравновешиваются с помощью балансира 6. Исследуемое тело 11 отпускается и под воздействием силы тяжести начинает

опускаться вниз по направляющей 9. При падении тела 11 в песок 5, размещенный в нижней части резервуара 10, фиксируется показание отклонившейся из положения равновесия стрелки весов 2. Затем из резервуара 10 удаляется среда, в него помещается исследуемое тело 11 и закрепляется в верхней его части механизмом 12. При падении тела 11 в песок 5 также фиксируется показание отклонившейся из положения равновесия стрелки весов 2. Разница в показаниях стрелки весов 2 соответствует силе сопротивления среды.

С помощью стенда данной конструкции были проведены лабораторные испытания с целью апробации стенда на предмет возможности его использования для исследования аэродинамического сопротивления тел различной формы.

При проведении эксперимента тело в форме круга сбрасывалось на весы при трех значениях высоты. При этом с помощью цветного маркера фиксировались показания весов и рассчитывались значения коэффициента  $C_x$ .

Проведенный эксперимент подтвердил возможность использования стенда для определения силы сопротивления среды движению тела для проведения исследовательских и учебных работ.

В ходе проведения эксперимента измерению были подвергнуты показания весов при определении массы испытуемого тела  $m_{гр}$ , массы чаши весов  $m_ч$  и массы пружины  $m_{пр}$ , а также высота  $H$ , с которой падало тело, величина деформации пружины  $\lambda$  при падении испытуемого тела на чашу весов и величина радиуса испытуемого тела при определении площади фронтальной проекции  $F$ . Величина жесткости пружина  $C$  была получена расчетным путем:

$$C = \frac{P}{\lambda_B}$$

где  $P$  – сила тяжести, действующая на тело, лежащее на чаше весов,  $P = m_B \cdot g$ ;

$\lambda_B$  – деформация пружины.

Для проведения оценки влияния величины погрешности измерений каждой из перечисленных составляющих на величину коэффициента обтекаемости  $C_x$  необходимо выполнить следующее.

$$C_x = \frac{2m_{гр}(2m_{гр}g(H-\lambda)-\lambda(C\lambda-g(2m_ч+m_{пр})))}{\rho r F \lambda (C\lambda - 2g(m_{гр}+m_ч) - m_{пр}g)} \quad (1)$$

Обозначив правую часть уравнения (1) через  $f$  и взяв частные производные, получим:

$$dC_x = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial \alpha_i} d\alpha_i$$

а, следовательно

$$\Delta C_x = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial \alpha_i} \Delta \alpha_i$$

где  $\Delta C_x$  – величина погрешности коэффициента обтекаемости  $C_x$ ;

$\frac{\partial f}{\partial \alpha_i}$  – частная производная функции по одной из измеряемых величин;

$\alpha_i$  – величина погрешности измерения.

После определения частных производных были найдены погрешности коэффициента обтекаемости  $C_x$  в зависимости от погрешности определения  $m_{гр}$ ,  $m_ч$ ,  $m_{пр}$ ,  $H$ ,  $\lambda$ ,  $F$ , представленной как  $\pi r^2$ , и  $C$ :

$$\Delta C_x(m_{гр}) = 0,017$$

$$\Delta C_x(m_ч) = 0,001377$$

$$\Delta C_x(m_{пр}) = 0,00069$$

$$\Delta C_x(H) = 0,00025$$

$$\Delta C_x(\lambda) = 0,03631$$

$$\Delta C_x(F) = 0,0115$$

$$\Delta C_x(C) = 0,0197$$

Суммарная погрешность  $\sum \Delta C_x = 0,086827$ , что составляет примерно 7,4% от справочной величины  $C_x = 1,17$ .

Таким образом, использование данной конструкции при лабораторных испытаниях возможно при проведении экспресс-оценки коэффициентов обтекаемости  $C_x$  тел различной формы.

Во многих случаях требуется определение формы тела для совершенствования его аэродинамических свойств.

Самым простым и общеизвестным способом определения формы поверхности является нивелирование. Нивелирование поверхности проводится с помощью теодолита, установленного на штативе, и линейки. Достоинством данного способа является простота проведения измерений и достаточная степень точности получаемых результатов. Недостатком данного способа является невозможность проведения измерений на поверхности маленького размера.

Другим способом [6] является способ измерения формы поверхности изделий, который заключается в том, что на поверхность исследуемого изделия до нагружения проецируют эталонную систему меток. Затем отраженную от поверхности изделия эту систему меток фиксируют в плоскости регистрации изображения изделия. Одновременно с этим в плоскость регистрации изображения проецируют эталонную систему меток и

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ ДВИЖЕНИЮ ТЕЛА

совмещают ее с отраженной от поверхности изделия эталонной системой меток. При совмещении добиваются полного исчезновения образующихся при этом интерференционных полос. После этого нагружают изделие, регистрируют образующуюся интерференционную картину и по ней измеряют деформацию.

Достоинством данного способа является высокая степень точности результатов измерений.

Основными недостатками описанного способа являются повышенная трудоемкость подготовки поверхности изделия к измерениям его деформаций, наличие плоскости регистрации изображения и отражающей поверхности на изделии, а также этот способ не дает возможности определить первоначальную форму поверхности тела, а только относительную форму тела после деформации.

Еще одним существующим способом [7] определения формы поверхности может служить способ контроля профиля криволинейных поверхностей. Суть этого способа состоит в том, что в контролируемых точках криволинейной поверхности размещают плоские метки. В качестве меток используют световые марки, сформированные в каждой из указанных точек посредством световых лучей с различными одна от другой длинами волн. После этого сканируют изображение световой марки, представляющее собой интерференционную картину, находят координату контролируемой точки и определяют профиль поверхности.

Достоинствами способа контроля профиля криволинейных поверхностей является возможность определения первоначального профиля поверхности, а также высокая степень точности результатов определения.

Основным недостатком описанного способа является низкая эффективность использования вследствие сложности анализа результатов измерений.

Так же, был разработан простой и более эффективный способ [8] определения формы тела.

Данный способ отличается простотой и не требует наличия определенных профессиональных навыков. Анализ полученных результатов не требует специальных знаний, так как основан на применении геометрических соотношений. И, самое главное, этот способ не требует применения специальной аппаратуры и может быть автоматизирован. Для обработки экспериментальных данных может быть применен персональный компьютер.

Разработанный способ поясняется рисунками, где на рисунке 7 изображена схема осуществления способа определения координат точек и ориентации участков поверхности тела сложной формы, вид сверху, на рисунке 8 – вид А рисунка 7.

Использование способа определения координат точек и ориентации участков поверхности тела сложной формы требует введения горизонтальной 1 и перпендикулярной ей вертикальной 2 базовых поверхностей. Метки 3 выполнены, например, в форме круга (в проекции эллипса с большой 4 и малой 5 осями). Фиксирующим прибором 6 может являться любой оптический фиксирующий прибор, например, фото-, теле-, кино- или видеокамера. Метка 3 размещается в контролируемой точке участка 7 поверхности тела сложной формы.

Способ определения координат точек и ориентации участков поверхности тела сложной формы заключается в следующем.

На исследуемой поверхности размещаются метки, пропорциональные размерам этой поверхности. В качестве меток могут быть использованы плоские элементы одинаковой формы и размеров.

При большой площади поверхности тела метки распространяют по этой поверхности с помощью рассеивателя.

Восприятие изображения поверхности тела сложной формы осуществляют оптическим фиксирующим прибором 6. Последующий анализ воспринимаемого изображения производят относительно горизонтальной 1 и перпендикулярной ей вертикальной 2 базовых поверхностей. При этом эталонную метку располагают на горизонтальной 1 базовой поверхности. В качестве горизонтальной базовой поверхности используют, например, поверхность стола, пола или стенда.

Анализ результатов измерений воспринимаемого изображения осуществляется на основе сравнения размеров и формы меток, полученных при восприятии изображения поверхности, с размерами и формой эталонной метки.

Так, по соотношению размеров метки, полученных при восприятии изображения указанной поверхности, и размеров эталонной метки определяют удаление от поверхности тела сложной формы, то есть вертикальную координату точки поверхности тела относительно горизонтальной 1 базовой поверхности. А по соотношению формы метки, полученной при восприятии изображения, и формы эталонной метки определяют угол и направление наклона участка этой поверхно-

сти относительно вертикальной 2 базовой поверхности.

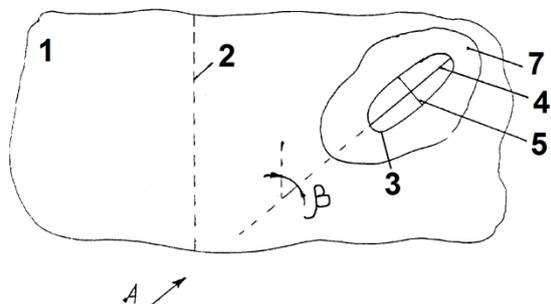


Рисунок 7 – Схема осуществления способа определения координат точек и ориентации участков поверхности тела сложной формы: 1 – горизонтальная базовая поверхность; 2 – вертикальная базовая поверхность; 3 – метка; 4 – большая ось эллипса; 5 – малая ось эллипса; 6 – оптический фиксирующий прибор; 7 – участок поверхности;  $\beta$  – угол наклона участка 7 поверхности тела сложной формы к вертикальной 2 базовой поверхности

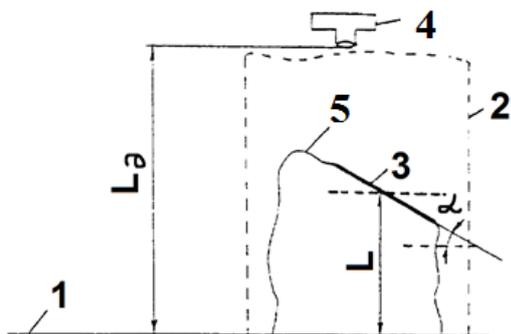


Рисунок 8 – вид А рисунка 7: 1 – горизонтальная базовая поверхность; 2 – вертикальная базовая поверхность; 3 – метка; 4 – оптический фиксирующий прибор; 5 – участок поверхности;  $\alpha$  – угол наклона участка 5 поверхности тела сложной формы к горизонтальной 1 базовой поверхности;  $L$  – расстояние от участка 7 поверхности тела сложной формы до горизонтальной 1 базовой поверхности;  $L_0$  – расстояние от объектива оптического фиксирующего прибора 4 до горизонтальной 1 базовой поверхности

Для определения остальных координат контролируемых точек поверхности тела сложной формы полученные данные по вертикальным координатам контролируемых точек, и направлению наклона участков этой поверхности относительно вертикальной базовой поверхности подвергают обработке на ЭВМ, в процессе которой вводят координатные оси.

При построении поверхности с помощью ЭВМ на основе полученных данных возможны два варианта построения. Первый вариант основан на соединении двух рядом лежащих центров меток по кратчайшему расстоянию.

Другим способом построения поверхности является способ соединения двух рядом лежащих точек по некоторому радиусу. Для определения величины радиуса кривизны моделируемой поверхности предлагается выполнить следующие дополнительные действия.

Предположим, что две рядом лежащие точки расположены на поверхности с кривизной радиуса  $R$ . Поверхность между точками может иметь как выпуклость, так и вогнутость. Это будет определяться по расположению точки пересечения малых осей эллипсов двух рядом лежащих точек. Для уменьшения погрешности  $\Delta$  предлагается определить радиус кривизны  $R$  и соединить точки по найденному радиусу. Для определения радиуса построим окружность в треугольнике, как показано на рисунке 9. Третья сторона треугольника должна быть параллельна горизонтальной базовой поверхности. Углы, образованные касательными  $CD$  и  $CE$ , составляют с этой стороной известные углы  $\alpha$  и  $\beta$ . Угол при вершине  $C$  равен  $180 - (\alpha + \beta)$ . Рассматривая четырехугольник  $ACBO$ , определим угол  $\gamma$  при вершине  $O$ :  $\gamma = \alpha + \beta$ .

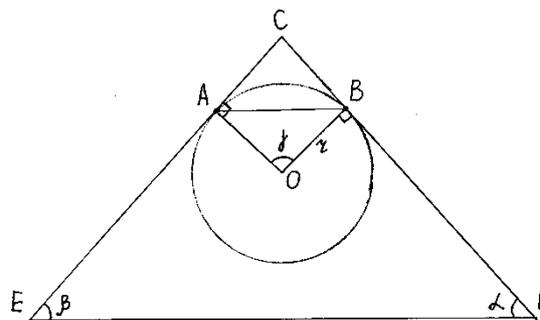


Рисунок 9 – Определение радиуса кривизны моделируемой поверхности

Обозначив для упрощения расчета расстояние  $AB$  через  $a$ , получим:

$$\alpha = 2R \sin \frac{\gamma}{2} \quad (2)$$

Выразив из уравнения (2)  $R$ , получим:

$$R = \frac{a}{2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2}}$$

При построении поверхности на ЭВМ может быть использован любой из двух вышеперечисленных способов.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ ДВИЖЕНИЮ ТЕЛА

### Выводы

Предложенные устройства позволяют более эффективно исследовать взаимодействие тела с окружающей средой при движении.

### Список литературы

1. Устройство для определения сопротивления и степени износа почвообрабатывающих рабочих органов: пат. 2105280 Рос. Федерация : МПК<sup>6</sup> G 01 M 19/00, A 01 B 17/00 / авторы и заявители Салдаев А.М. Оpubл. 20.02.98. Бюл. № 5 (ч.II)
2. Способ определения коэффициента лобового сопротивления исследуемого тела: пат. 2006808 Рос. Федерация : М. пл<sup>5</sup>, G 01 M 9/00 / авторы и заявители Кривоцюк В.И., Попов В.Н. Оpubл. 30.01.94, Бюл. № 2
3. Фабрикант, Н.Я. Аэродинамика. Общий курс / Н.Я. Фабрикант. - М.: Наука, 1964. - 548 с
4. Стенд для определения сопротивления среды движению тела: пат. 2187087 Рос. Федерация : МПК<sup>7</sup>, G 01 M 19/00 / авторы и заявители Павлюк А.С., Баранов А.С., Бизяев С.Н., Павлюк С.А. Оpubл. 10.08. 2002, Бюл. № 22 (ч.III)
5. Стенд для определения сопротивления среды движению тела (варианты): пат. 2149372

Рос. Федерация : МПК<sup>7</sup>, G 01 M 9/00 / авторы и заявители Павлюк А.С., Бизяев С.Н., Баранов А.С. Оpubл. 20.05.2000, Бюл. № 14 (ч.II)

6. Способ измерения деформаций изделий: пат. 1245875 Рос. Федерация : М. кл.G 01B 11/16 / авторы и заявители Новиков А.А., Сыпалов А.С. Оpubл.23.07.86 86, Бюл. № 27

7. Способ контроля профиля криволинейных поверхностей: пат. 1254292 Рос. Федерация : М.кл.G 01B 11/24 / авторы и заявители Шаньгин Е.С. Оpubл.30.08.86, Бюл. № 32

8. Способ определения координат точек и ориентации участков поверхности тела сложной формы: пат. 2162591 Рос. Федерация : М.пл<sup>5</sup>, G 01 B 11/24,11/16 / авторы и заявители Павлюк А.С., Бизяев С.Н., Баранов А.С., Павлюк С.А. Оpubл.27.01.2001, Бюл. № 3 (ч.II)

*Павлюк Александр Сергеевич, д.т.н., профессор кафедры АиАХ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. 8 (3852) 29-07-91;*

*Баранов Алексей Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры АиАХ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел. 8 (3852) 29-07-66;*

*Собачкин Александр Викторович, студент, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, e-mail samap@list.ru*