

УДК 625.084

На правах рукописи

Бостанов Баянды Оспанович

**Разработка кинематики и динамики комбинированного  
вибровозбудителя дорожных катков**

05.05.04 – Дорожные, строительные и подъёмно-транспортные машины

**Автореферат**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Республика Казахстан  
Алматы, 2010

Работа выполнена в Евразийском национальном университете им. Л.Н. Гумилева (ЕНУ им. Л.Н. Гумилева)

Научный руководитель: доктор технических наук  
Темирбеков Е.С.

Официальные  
оппоненты: доктор технических наук  
Исаков К.А.

кандидат технических наук  
Мауленов Н.О.

Ведущая организация: Межотраслевой научно-технический центр  
«Машиностроение»

Защита состоится «24» декабря 2010 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 14.17.02 при Казахском национальном техническом университете им. К.И. Сатпаева по адресу: 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а, Институт машиностроения, ИМС-304.

Тел. +7-727-257-71-83; факс +7-727-292-60-25; e-mail: aspirantura@ntu.kz

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева (КазНТУ).

Автореферат разослан «    » ноября 2010 г.

Учёный секретарь  
Диссертационного совета,  
доктор технических наук

Б.Т. Сазамбаева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Развитие промышленности, сельского хозяйства и строительства тесно связано с расширением сети автомобильных дорог, увеличением объема работ по содержанию, ремонту и реконструкции действующих магистралей. Создание разветвленной сети дорог, а также поддержание дорожного покрытия в требуемом состоянии при минимальных материальных затратах на данные работы - неотложная задача дорожного хозяйства страны.

Процесс строительства автомобильных дорог представляет собой довольно сложную технологическую задачу. Для устройства дорожных одежд применяется целый комплекс разнообразных по назначению и своим возможностям дорожно-строительных машин. Однако, несмотря на четко отработанную в теоретическом отношении технологию строительства автомобильных дорог, долговечность их на практике оказывается не такой большой, как это следовало бы из расчета. Основной причиной преждевременного износа и разрушения конструкции дороги является недоуплотнение её основания и других технологических слоев, часто из-за несовершенства применяемой дорожной техники, её неспособности дозировать и регулировать свое силовое давление на уплотняемую среду, поэтому в условиях современного строительства дорог уплотнению дорожно-строительных материалов и развитию конструкций уплотняющих дорожных машин уделяется особенно большое внимание. Дальнейшее развитие дорожного строительства требует совершенствования организации строительных работ и улучшения качества и возможностей, а также универсальности дорожных и строительных машин.

В настоящее время дорожное строительство развивается в направлении увеличения прочности и долговечности дорог, что обуславливает применение для устройства дорожных одежд дорогостоящих материалов и усложняет технологию. Однако вложенные средства и затраченные усилия оказываются напрасными, если не обеспечивается требуемая степень уплотнения дорожной одежды. Поэтому в условиях современного строительства уплотнению дорожно-строительных материалов уделяется особенно большое внимание. Выполнение этих мероприятий на базе высокоэффективной дорожно-строительной техники и оборудования обеспечивает существенную экономию материальных, энергетических и трудовых ресурсов производственных процессов в строительстве и дорожном хозяйстве.

Уплотнение грунтов и других дорожно-строительных материалов является наиболее дешевым и вместе с тем действенным методом повышения прочности и устойчивости земляного полотна. Процесс уплотнения, выполняемый путем статического или динамического воздействия, существенно влияет на эксплуатационную прочность отдельных строительных элементов и сооружения в целом. Физически процесс уплотнения состоит в вытеснении воздуха из грунта. Вода при уплотнении укаткой, трамбованием или вибрацией не успевает отжаться из зоны контакта между частицами,

поскольку для ее фильтрации сквозь тонкие поры требуется определенное время. Работа уплотнения уходит на преодоление трения между частицами и их перемещение. Пока влажность грунта мала, добавление в него воды облегчает перемещение частиц относительно друг друга и способствует их более тесной укладке при той же затраченной работе. В результате с увеличением содержания воды в образце грунта до определенного предела плотность скелета увеличивается. При этом в грунте существует связанная система воздушных пор, сообщающихся с атмосферой, объем которых постепенно убывает при вытеснении воздуха в атмосферу.

По своей природе грунты весьма разнообразны и поэтому различны их физико-механические свойства. В ходе строительства их уплотняют в разных условиях – на больших площадях, в насыпях, на откосах, в траншеях, котлованах и т.п. Все это обуславливает различные требования к машинам для уплотнения грунтов. Часто эти требования противоречивы и поэтому уплотнение грунтов в дорожном строительстве не может быть выполнено какой-либо одной или даже двумя типами существующих в настоящее время машин. Высокая плотность материала достигается правильным выбором методов уплотнения, параметров применяемых машин и режимов уплотнения.

Удельные давления на поверхности контактов рабочих органов машин с уплотняемыми грунтами не должны быть выше их пределов прочностей, но вместе с тем они не должны быть и низкими, так как в противном случае снижается эффект уплотнения. Давление рабочего органа машины должно постепенно повышаться от прохода к проходу в случае катков или от удара к удару при трамбуемых машинах.

При высоких давлениях на поверхности контакта рабочих органов с материалом возникает пластическое течение, т.е. выдавливание материала из-под рабочих органов. При укатке это влечет за собой волнообразование.

В настоящее время парк машин для уплотнения грунтов состоит из разнообразных типов, которые отличаются друг от друга не только конструкцией, но и принципами работы.

Разнообразие типов уплотняющих машин, а также их относительно низкая производительность усложняют технологический процесс по возведению дорожного полотна, требуют привлечения значительных людских ресурсов, что, в конечном итоге, повышает стоимость единицы продукции при производстве работ.

Таким образом, поиск новых эффективных способов уплотнения грунтов имеет важное экономическое значение, а создание на их основе высокопроизводительных уплотняющих машин **является актуальной задачей.**

**Объект исследования:** планетарные вибровозбудители с различной формой беговой дорожки, установленные в вальцы дорожных катков и взаимодействующие с уплотняемой средой.

**Предмет исследования:** выявление закономерностей влияния регулируемых параметров планетарных вибровозбудителей дорожных катков на изменения величин, характеризующих процесс уплотнения.

**Цель работы** заключается в повышении эффективности вибрационных катков путем применения комбинированных планетарных вибровозбудителей с регулируемым воздействием на уплотняемую среду и разработка его кинематики и динамики.

Исследование направлено на повышение эффективности вибрационных катков с использованием асимметричных планетарных вибровозбудителей, которые отличаются более высоким уровнем динамических параметров, характеризующих влияние подводимой к вибровальцу энергии на увеличение вынуждающей силы и уплотняющей способности вибровальца и катка в целом.

Работа по повышению производительности уплотняющих машин, путем исследования кинематики и динамики асимметричного планетарного вибровозбудителя с некруглой (комбинированной) беговой дорожкой является актуальной и направлена на решение проблем, вытекающих направлений стратегии индустриально-инновационного развития Республики Казахстан.

Выполнение поставленной цели достигалось проведением исследований, **задачи** которых включали:

- анализ конструкций планетарных вибровозбудителей с различной формой беговой дорожки и реализации величины и направления вынуждающей силы;
- разработку методики аналитического исследования движения инерционного элемента комбинированного планетарного вибровозбудителя с применением совмещенной полярной и декартовой систем координат;
- разработку математической модели комбинированного вибровозбудителя, беговая дорожка которого состоит из круглой и эллиптической дуг коник с переходным участком, обеспечивающим плавный переход;
- разработку методики определения мест соединения переходного участка беговой дорожки вибровозбудителя, удовлетворяющей заданным условиям непрерывности, касания и кривизны путем исследования кинематики;
- разработку методики расчета и рекомендаций по выбору рациональных параметров конструкций катка с комбинированным планетарным вибровозбудителем путем исследования динамики;
- получение регрессионных зависимостей величины статического давления вибрационного вальца на грунт от параметров комбинированного планетарного вибровозбудителя и скорости катка;
- вывод формул для определения кинематических и динамических параметров вибровозбудителей с различной формой беговой дорожки, удобных для инженерных расчетов;

Это определило тему данной диссертационной работы, характер и структуру теоретических и экспериментальных исследований. В результате проведенной работы дано обоснование конструкции, установлены возможности повышения производительности и эффективности вибрационных катков. Создан оригинальный экспериментальный стенд, включающий физическую модель комбинированного планетарного вибровозбудителя (КПВ) с возможностью исследования планетарных вибровозбудителей с различной формой беговой дорожки.

### **Научная новизна** диссертации:

- впервые разработана методика аналитического исследования движения инерционного элемента комбинированного планетарного вибровозбудителя с применением совмещенной полярной и декартовой систем координат;
- впервые разработана математическая модель комбинированного вибровозбудителя, беговая дорожка которого состоит из круглой и эллиптической дуг коник с переходным участком, обеспечивающим плавный переход;
- впервые разработана методика определения мест соединения переходного участка беговой дорожки вибровозбудителя, удовлетворяющей заданным условиям нерывности, касания и кривизны путем исследования кинематики;
- разработана методика расчета и рекомендаций по выбору рациональных параметров конструкций катка с комбинированным планетарным вибровозбудителем путем исследования динамики;
- разработаны и запатентованы авторские свидетельства на изобретения конструкций вибровозбудителей дорожных катков;
- получены результаты экспериментальных исследований и регрессионных зависимостей величин статического давления вибрационного вальца на грунт от параметров комбинированного планетарного вибровозбудителя и скорости катка;
- получены формулы и графические зависимости для определения кинематических и динамических параметров вибровозбудителей с различной формой беговой дорожки, удобных для инженерных расчетов;

### **Практическая ценность** исследований заключается в следующем:

- разработаны математические зависимости для инженерного расчета и обоснования параметров комбинированных планетарных вибровозбудителей дорожных катков;
- в созданных экспериментальных стендах для исследования эффективности процесса уплотнения дорожно-строительных материалов дорожными катками с комбинированными планетарными вибровозбудителями,
- в разработанных и созданных конструкциях и методиках расчета параметров комбинированных планетарных вибровозбудителей дорожных катков с регулируемой вынуждающей силой и воздействием на уплотняемую среду, позволяющих повысить эффективность процесса уплотнения.

Результаты работы могут быть использованы как при проектировании вибровозбудителей и виброкатков, так и при их эксплуатации в производственных условиях.

**Обоснованность и достоверность** теоретических положений, выводов и рекомендаций подтверждаются результатами проверки разработанных теоретических моделей лабораторными экспериментами, проведенными с использованием современного оборудования применением современных методов расчета и адекватностью теоретических и экспериментальных исследований.

### **На защиту выносятся:**

- методика аналитического исследования движения инерционного элемента комбинированного планетарного вибровозбудителя с применением совмещенной полярной и декартовой систем координат;
- математическая модель комбинированного вибровозбудителя, беговая дорожка которого состоит из круглой и эллиптической дуг коник с переходным участком, обеспечивающим плавный переход;
- методика определения мест соединения переходного участка беговой дорожки вибровозбудителя, удовлетворяющей заданным условиям нерывности, касания и кривизны;
- методика расчета и рекомендаций по выбору рациональных параметров конструкций катка с комбинированным планетарным вибровозбудителем;
- результаты экспериментальных исследований и регрессионных зависимостей величины статического давления вибрационного вальца на грунт от параметров комбинированного планетарного вибровозбудителя и скорости катка;
- формулы и графические зависимости для определения кинематических и динамических параметров вибровозбудителей с различной формой беговой дорожки, удобных для инженерных расчетов;

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались на международных научно-технических конференциях, проводимых в нашей стране и в ближнем зарубежье.

**Публикации.** По результатам проведенных исследований опубликовано 26 печатных работ, из них 6 работ опубликованы в научных изданиях, рекомендованных для публикаций работ Комитетом по контролю в сфере образования и науки Республики Казахстан.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованной литературы, состоящего из 106 наименований, 7 приложений. Общий объем составляет 172 с., в том числе основной текст составляет 145 с., 95 рисунков и 23 таблиц.

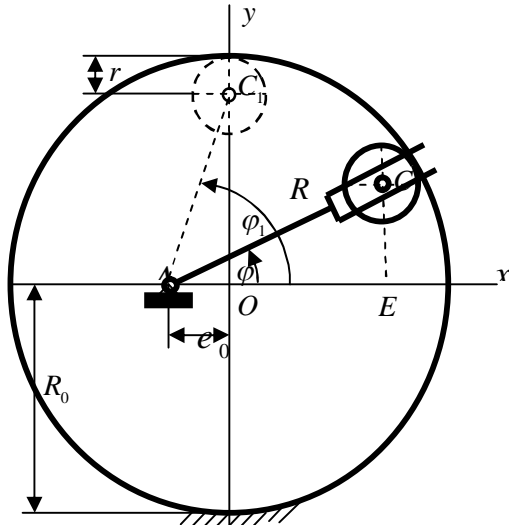
## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** изложены актуальность диссертационной работы, научная новизна и практическая ценность результатов работы.

**В первой главе** представлены результаты обзора научно-технической и патентной информации, анализ которой позволил сделать вывод о целесообразности применения вибрационного самоходного катка, в вальце которого установлен асимметричный планетарный вибровозбудитель, обеспечивающий дополнительный эффект по увеличению вынуждающей силы и поличастотному характеру вибраций.

**Во второй главе** приведено теоретическое исследование планетарного вибровозбудителя дорожных катков с различной формой беговой дорожки (рисунок 1). Переменную величину  $R$ , определяющую положение центра  $C$  бегунка, можно рассмотреть как полярный радиус  $R$  точки  $C$ . Полярный угол определяется:  $\varphi = \varphi_0 + 2k\pi$ .

a)



б)

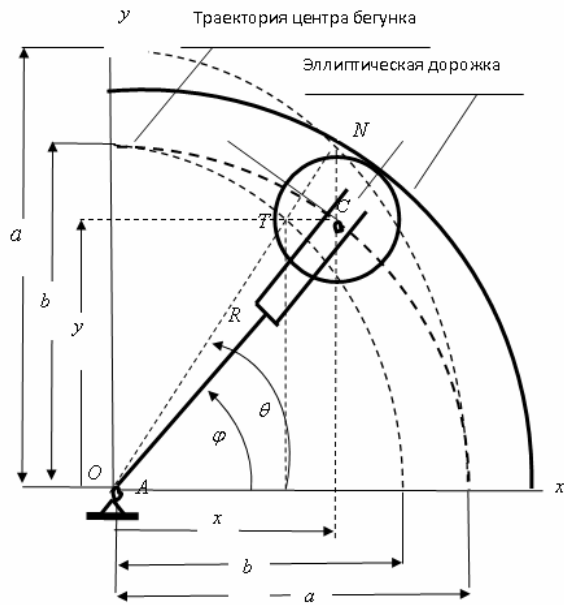


Рисунок 1 – Планетарные вибровозбудители с круговой (а) и эллиптической (б) беговыми дорожками

$$\left\{ \begin{array}{l} R = (R_0 - r) - \frac{e_0 \lambda}{4} + e_0 \left( \cos \varphi + \frac{\lambda}{4} \cos 2\varphi \right) \\ R'_\varphi = -e_0 \left( \sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) \\ R''_\varphi = -e_0 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi) \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R = \left( b + \frac{b}{4} e^2 \right) + \frac{b}{4} e^2 \cos 2\varphi \\ R'_\varphi = -\frac{be^2}{2} \sin 2\varphi \\ R''_\varphi = -be^2 \cos 2\varphi \end{array} \right. \quad (2)$$

$e$  – эксцентритет эллипса

После разложения в бином Ньютона получены формулы для аналогов  $R$ ,  $R'_\varphi$ ,  $R''_\varphi$ , удобные для расчета, в виде выражений (1) для ПВ с круговой беговой дорожкой и (2) - эллиптической беговой дорожкой.

Величины  $R$ ,  $\dot{R}$ ,  $\ddot{R}$  входят в выражения, описывающие кинематические и динамические характеристики ролика бегунка и эти формулы являются основными определяющими формулами.

Рассматривается движение планетарного вибровозбудителя с поводковым водилом, бегунок которого совершает движение под действием сил инерции  $F^{ue}$ ,  $F^{ur}$ ,  $F^{uk}$  (рисунок 2).

a)

б)



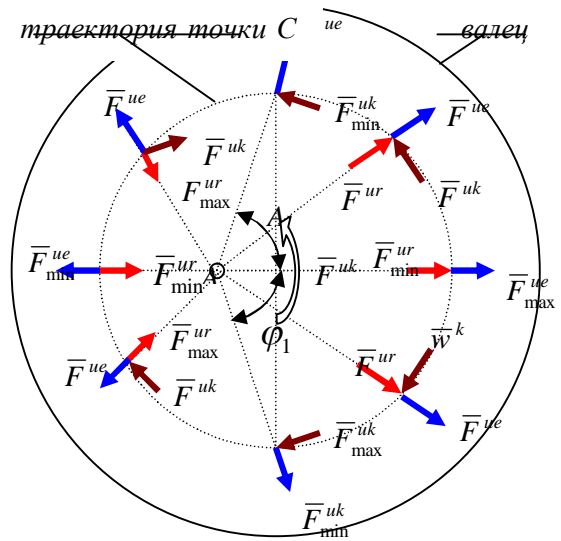
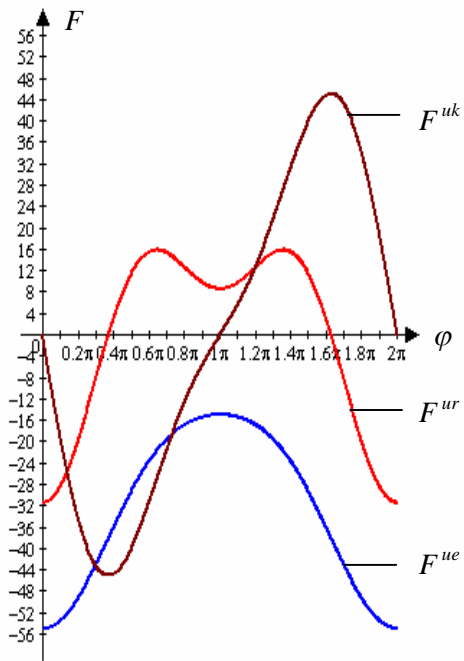
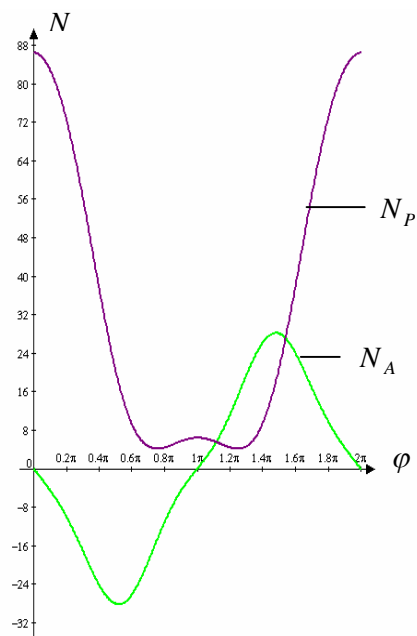
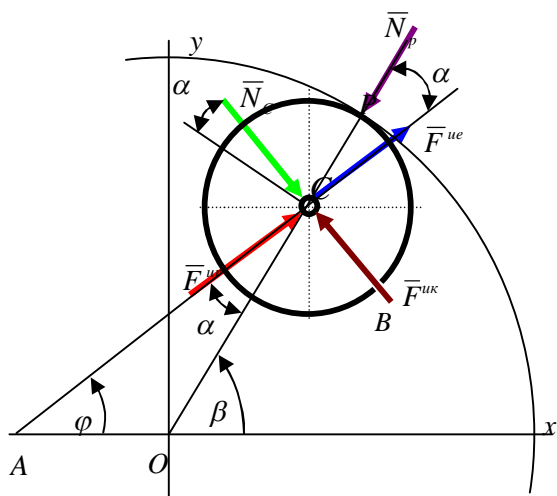


Рисунок 2 - Диаграмма (а) и картина (б) сил инерции  $F^{ue}$ ,  $F^{ur}$ ,  $F^{uk}$  приложенных к центру С бегунка (круговой валец)

Методом кинестатики определены силы реакции в точке касания  $P$  ролика бегунка с вальцом и в точке крепления водила  $A$ . Диаграмма сил реакции  $N_P$ ,  $N_A$  показывает (рисунок 3), что принимаемые максимальные нагрузки вальца значительно больше нагрузки в точке  $A$ , значит вал стойки нагружен относительно меньше, чем нагрузка, приходящиеся на валец во время движения вибровозбудителя.

Получены формулы, определяющие кинематические и динамические параметры вибровозбудителей, приведены их диаграммы.



а) б)  
 Рисунок 3 - Силы, действующие на ролик бегунка (а) и диаграмма (б) сил реакции  $N_A$ ,  $N_p$

Далее рассматривается движение бегунка вибровозбудителя по комбинированной беговой дорожке, составленной из дуг коник с общей касательной в точках соединения. При переходе из одной части в другую, в точках соединения возникает разрыв кривизны, вызывающий скачок центробежной силы (рисунок 4,а).

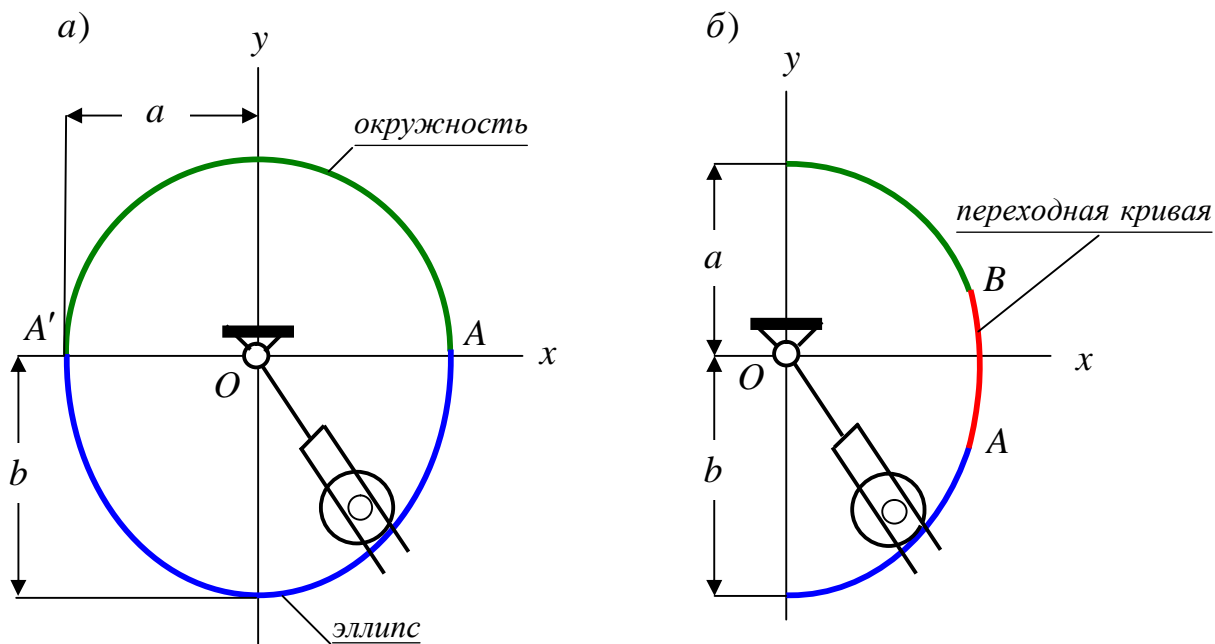


Рисунок 4 - Вибровозбудитель с комбинированной беговой дорожкой

Для того, чтобы обеспечить переход без скачка необходимо между ними вставить переходный участок в виде дуги кривой, удовлетворяющей условиям (рисунок 4,б):

а) дуга должна проходить через точки соединения  $A$  и  $B$ ;

б) соединяющая и соединяемая части должны иметь одинаковую непрерывную первую производную в точках соединения (в этой точке скорости должны быть равными);

в) соединяющая и соединяемая части должны иметь одинаковую непрерывную вторую производную в точках соединения (в этой точке радиусы кривизны должны быть равными);

Для обеспечения непрерывности, касания и равенства радиусов кривизны  $\rho_A$  и  $\rho_B$  в точках соединения  $A$  и  $B$ , введен безразмерный коэффициент

$$\eta = \sqrt[3]{\frac{\rho_A}{\rho_B}} \text{ и найдены новые соотношения } \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{\sin \beta_E}{\sin \alpha_E} = \frac{d_B}{d_A} = \frac{l_A}{l_B} = \frac{h_A}{h_B} = \eta$$

(рисунок 5,а).

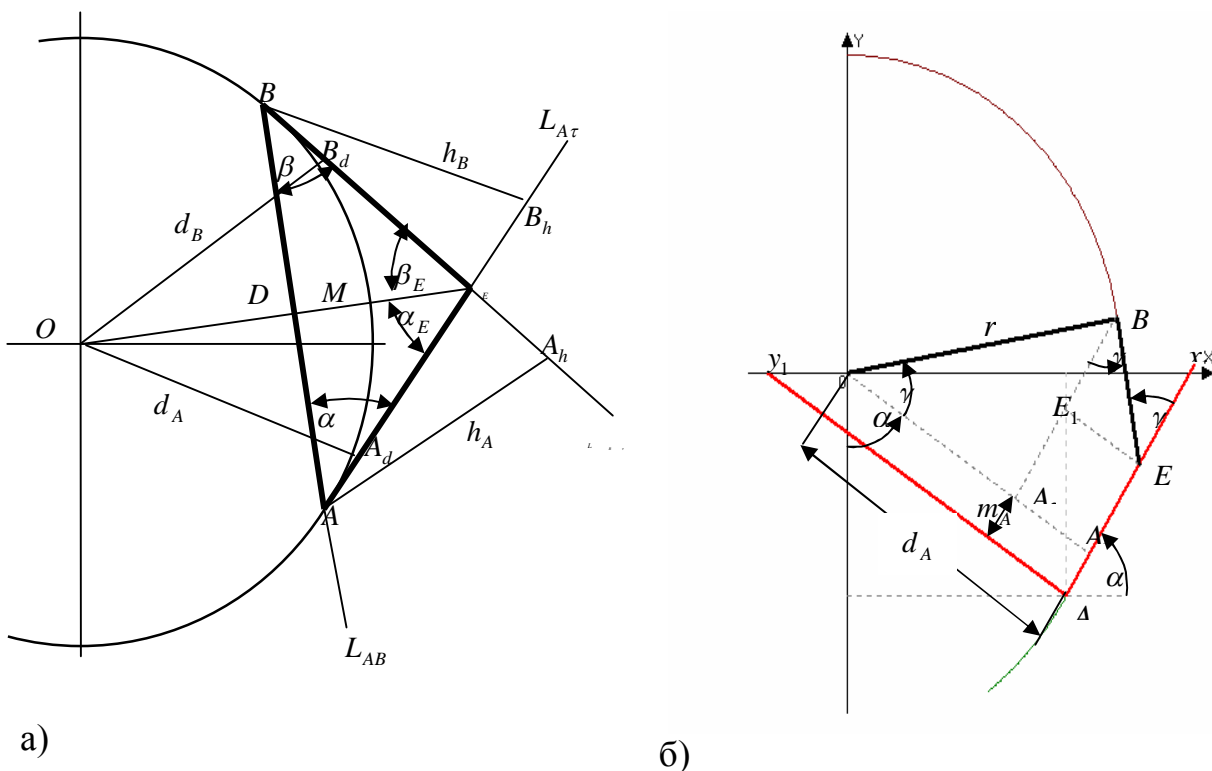


Рисунок 5 – Базисный треугольник (а) и определение положения точки  $B$

Используя элементы проективной геометрии и новые соотношения найдена формула, связывающая инженерный дискриминант  $f$  и  $\eta$ . Формула

$$\frac{m_A k \sqrt{1+k^2} - d_A \sqrt{1+k^2} + r(1+k^2)}{\sqrt{1+k^2} (d_A \sqrt{1+tg^2 \gamma} - r)} = \eta, \quad k = tg \gamma$$

дает возможность определить вторую точку соединения  $B$ , которая позволяет плавное соединение дуг с переходным участком. Показано, что процесс определения точки соединения  $B$  можно интерпретировать кулисным механизмом. После нахождения точек соединения  $A$  и  $B$ , искомая дуга переходного участка, обеспечивающая плавный переход, определяется по уравнению Лайминга:

$$(1 - \lambda) \cdot L_{A\tau} \cdot L_{B\tau} + \lambda \cdot L_{AB}^2 = 0$$

Параметр  $\lambda$  определяется заданием (выбором) точки  $M$ , если точка  $M$  имеет координаты  $x_M$  и  $y_M$ , тогда

$$\lambda = \frac{L_1(x_M, y_M) L_2(x_M, y_M)}{L_1(x_M, y_M) L_2(x_M, y_M) - L_3^2(x_M, y_M)}$$

Приведена теоретическая разработка и методика по определению формы комбинированной беговой дорожки, составленных из дуг коник и соединенных между собой сплайнами.

**В третьей главе** приведена методика экспериментальных исследований асимметричного планетарного вибровозбудителя и вибрационного катка.

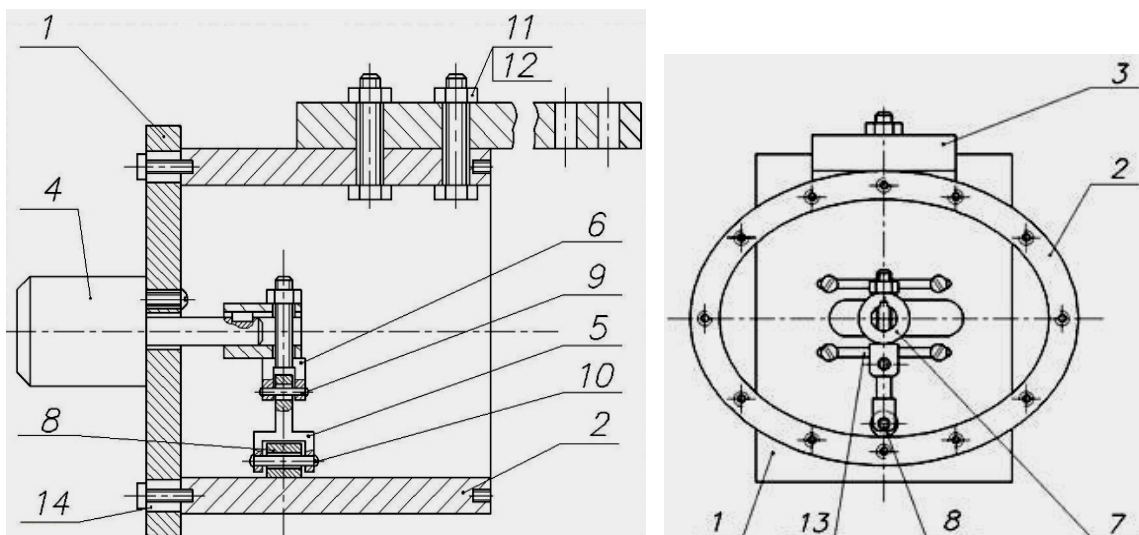


Рисунок 6 — Конструкция экспериментального стенда планетарного вибровозбудителя с эллиптической беговой дорожкой

Исследования АПВ с эллиптической беговой дорожкой проводились на стенде, включающем универсальную физическую модель вибровозбудителя (рисунок 6), состоящую из установленного при помощи болтов 11 и гаек 12 на тензометрической балке 3 корпуса 2, который одновременно является беговой дорожкой и может быть различной формы, внутреннюю поверхность которой

обегают инерционный бегунок 8, который может быть разной массы, приводимый в движение сочленёнными водилом 5 и тягой 6, связанной втулкой 7 с двигателем 4 привода, который закреплен на универсальной панели 1.

Бегунок 8 соединён с водилом 5 при помощи оси 10, а водило 5 сопряжено с тягой 6 посредством оси 9.

Получаемые экспериментальные значения автоматически фиксировались ПЭВМ, где сохранялись в виде диаграмм и таблиц.

На рисунке 7 представлен стенд для экспериментальных исследований модели вибрационного катка с комбинированным планетарным вибровозбудителем.

Целью экспериментальных исследований является определение напряжений в грунте по глубине. Основной целевой функцией при проведении экспериментов являлась величина статического давления катка на уплотняемый материал.

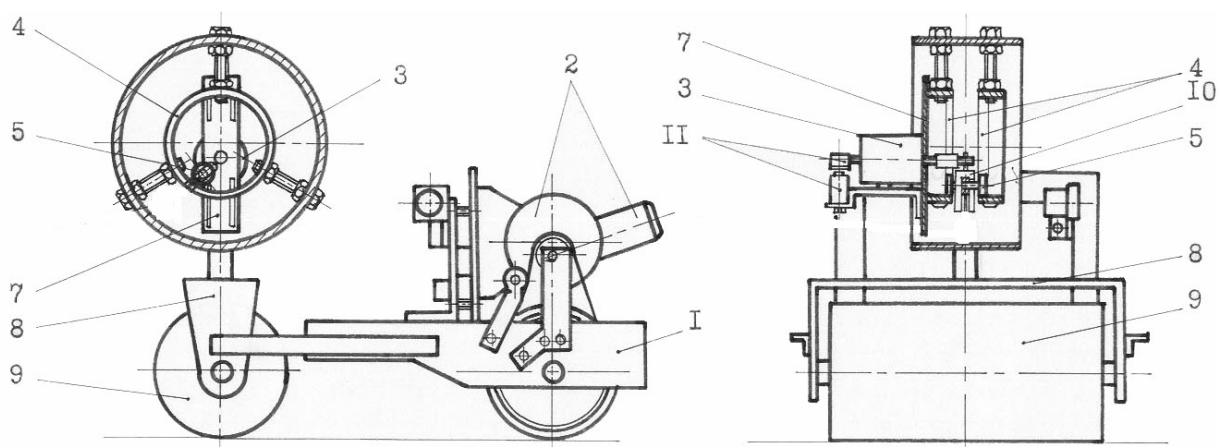


Рисунок 7 - Конструкция экспериментального стенда вибрационного катка с асимметричным планетарным вибровозбудителем: 1 – рама катка; 2 – механизм привода вальца катка; 3 – привод вибровозбудителя; 4 – беговая дорожка вибровозбудителя; 5 – инерционный бегунок; 7 – панель крепления привода вибровозбудителя; 8 – тензобалка; 9 – валец катка; 10 – водило; 11 – магнитно-индукционный датчик оборотов привода вибровозбудителя.

Проверка результатов теоретических исследований вызвала необходимость постановки лабораторного эксперимента, анализ результатов которого представлен **в четвертой главе**

На рисунке 8 показан график зависимости статического давления  $E$  на различной глубине для различной величины интегральной величины радиуса  $R$  круглой части комбинированной беговой дорожки планетарного вибровозбудителя от угловой скорости водила вибровозбудителя  $w$  при минимальной скорости движения катка  $V_k = 0,05$  м/с.

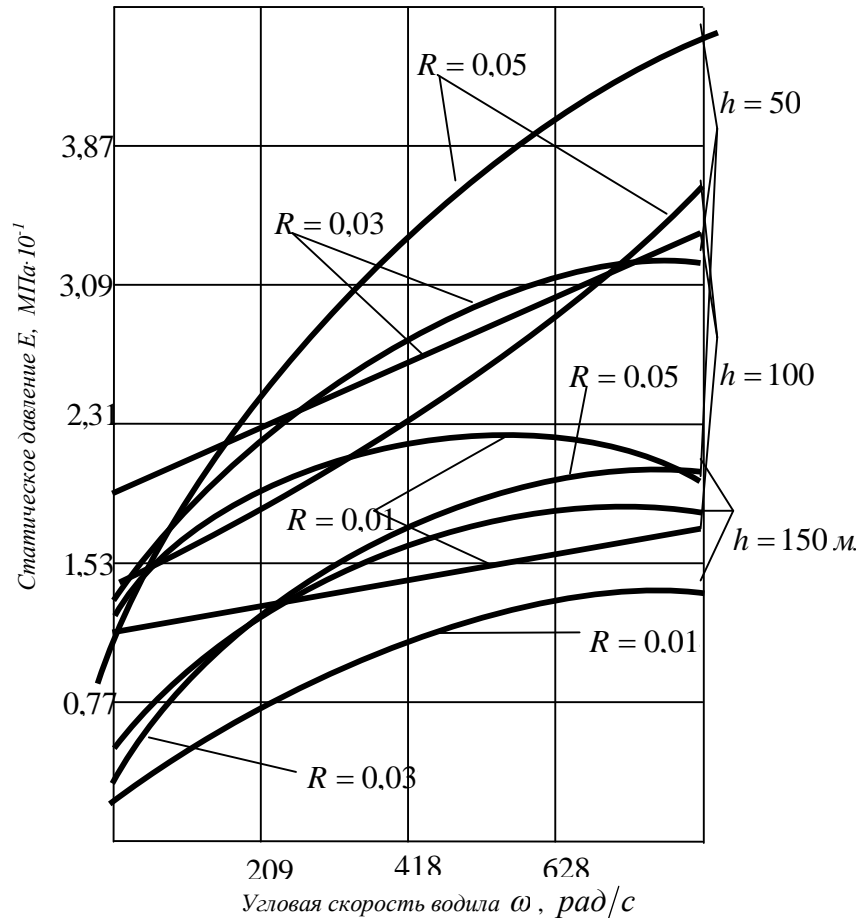


Рисунок 8 - Зависимость статического давления в грунте на разной глубине при скорости движения модели катка 0,05 м/с от угловой скорости водила планетарного вибровозбудителя и радиуса  $R$  круглой части комбинированной беговой дорожки планетарного вибровозбудителя

Максимальные статические давления развиваются в верхних слоях материала, наиболее близко расположенных к уплотненному ядру материала, которое лежит непосредственно под уплотняющим валцем и перемещается вместе с ним при неподвижном материале (исключая вязкопластическое его течение). Величина этого уплотненного ядра эквивалентна присоединенной к вибровальцу массе уплотняемого материала. Она зависит от минимального размера пятна контакта вальца с поверхностью материала (длина хорды цилиндрической поверхности отпечатка вальца, контактирующего с уплотняемым материалом) и от состояния уплотняемого материала, характеризуемого его абсолютной плотностью  $\gamma$  и коррелирующими с этой поверхностью величинами коэффициентов внутреннего трения  $\rho$  и сцепления материала согласно закону Кулона.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Вынуждающая сила комбинированного планетарного вибровозбудителя параболически зависит от величины массы бегунка с четко выраженным экстремумом. Это позволяет определить характер изменения величины вынуждающей силы в функции угловой скорости водила при оптимальных значениях массы бегунка и осуществлять обоснованный выбор указанной массы при проектировании комбинированных планетарных вибровозбудителей.

2. Эллиптической беговая дорожка АПВ должна располагаться вертикально снизу, а ось водила должна быть установлена в центре симметрии, либо фокусе эллиптической беговой дорожки, что обеспечивает действие импульса вынуждающей силы и её интегральной величины во времени в сторону поверхности уплотняемого материала.

3. Для эффективного увеличения интегральной вынуждающей силы комбинированного планетарного вибровозбудителя с круглоэллиптической беговой дорожкой эксцентриситет (фокус эллиптической части) беговой дорожки не должен превышать величины  $e = 0,6$ .

4. Анализ экспериментальных данных наглядно показывает изменение вынуждающей силы вибровозбудителя с ростом эксцентриситета эллиптической части беговой дорожки и инерционной массы бегунка, совершающей планетарное движение. Увеличение эксцентриситета от 0,4 до 0,6 для центрального варианта расположения оси водила обеспечивает рост на 62,39 %, тогда как для расположения оси водила фокусе эллиптической части комбинированной беговой дорожки рост на 56,63 %.

5. Сравнительный анализ результатов теоретических расчетов для комбинированного планетарного вибровозбудителя с круглоэллиптической беговой дорожкой и экспериментальными данными показывает величину расхождения в пределах до 8,64–18,22 % с наибольшим разбросом результатов в интервалах  $60^{\circ} < \varphi < 100^{\circ}$  и  $250^{\circ} < \varphi < 300^{\circ}$  угла поворота водила относительно оси симметрии вибровозбудителя. Увеличение эксцентриситета (фокуса) эллиптической части комбинированной беговой дорожки приводит к увеличению значимости случайных факторов, и соответственному росту расхождения теоретических и экспериментальных значений вынуждающей силы комбинированного планетарного вибровозбудителя.

6. При уплотнении материала вибрационным катком с использованием комбинированного планетарного вибровозбудителя эксцентриситет (смещение в фокус эллиптической части комбинированной беговой дорожки) водила относительно центра кривизны круглой части беговой дорожки вибровозбудителя должен быть ориентирован в сторону поверхности уплотняемого материала, что обеспечивает действие импульса вынуждающей силы и её интегральной величины во времени в сторону указанной поверхности.

7. Для эффективного увеличения интегральной вынуждающей силы асимметричного планетарного вибровозбудителя удельный эксцентриситет

водила должен соответствовать величине отношения радиуса беговой дорожки к эксцентриситету как  $K_e \geq 3$  ( $K_e = \frac{R_0}{e}$ ).

8. Комбинированная беговая дорожка, полученная соединением круглой и эллиптической половинок, обеспечивает увеличение удельной вынуждающей силы вибровозбудителя на 20 – 60 % при постоянной массе бегунка за счет увеличения суммарной кориолисовой силы, действующей на инерционный бегунок, и уменьшения проскальзывания инерционного бегунка по круглой части комбинированной беговой дорожки, т.е. снижение диссипативного рассеивания части энергии привода вибровозбудителя.

9. При увеличении частоты вращения вибровозбудителя от нуля до номинального значения наступает резонанс колебаний, который соответствует определенным частотам вращения в зависимости от жесткости связей комбинированного планетарного вибровозбудителя с системой базирования, например, вибрационным вальцем катка. Поэтому жесткость соединения комбинированного планетарного вибровозбудителя с вибрационным вальцем катка должна обеспечивать резонансные колебания уплотняющей системы в целом для достижения номинальной частоты вращения водила, которая соответствует заданной величине вынуждающей силы. Это позволяет уменьшить диссипативные потери энергии привода вибровозбудителя при достижении или преодолении резонансных зон по частоте вращения водила и может обеспечивать плавный вывод вибровозбудителя на номинальный режим работы, а также снижает вероятность поломки вибровозбудителя при преодолении резонансных зон и повышает в целом его надежность.

10. Вынуждающая сила комбинированного планетарного вибровозбудителя параболически зависит от величины радиуса круглой части комбинированной беговой дорожки с четко выраженным экстремумом. Это позволяет определить характер изменения величины вынуждающей силы в функции угловой скорости водила при оптимальных значениях радиуса круглой части комбинированной беговой дорожки и осуществлять обоснованный выбор указанного радиуса при проектировании комбинированных планетарных вибровозбудителей.

11. Изменение массы бегунка или частоты вращения водила при неизменной конструкции вибровозбудителя не влияет на величину удельной вынуждающей силы.

12. Сравнительный анализ результатов теоретических расчетов для планетарных вибровозбудителей с симметричной беговой дорожкой и экспериментальными данными показывает величину расхождения в пределах до 19-27 % с наибольшим разбросом результатов в интервалах ( $\pi \pm 20^0$ ) и ( $2\pi \pm 20^0$ ) угла поворота водила относительно оси симметрии вибровозбудителя. Для комбинированного планетарного вибровозбудителя величина расхождения между теоретическими расчетами и экспериментальными данными составила 6–10% вследствие более детерминированного процесса при уменьшении относительной длины зон



проскальзывания инерционного бегунка по поверхности беговой дорожки и соответственного уменьшения количества и величины случайных факторов, сопутствующих этому спонтанному проскальзыванию под влиянием кориолисовой силы. Увеличение эксцентриситета водила и радиуса инерционного бегунка приводит к увеличению значимости случайных факторов, и соответственному росту расхождения теоретических и экспериментальных значений вынуждающей силы комбинированного планетарного вибровозбудителя.

13. При уплотнении грунта физической моделью виброкатка с комбинированным планетарным вибровозбудителем величина целевой функции – статического давления, регистрируемого месдозами на различной глубине, параболически зависит от угловой скорости водила и радиуса круглой части комбинированной беговой дорожки. Зарегистрированные экстремальные точки по максимуму статического давления при вариации угловой скорости и радиуса круглой части комбинированной беговой дорожки характеризуются резонансным состоянием комплексной рабочей системы (вибровозбудитель – вибровалец – грунт).

14. При увеличении скорости движения катка величина статического давления внутри грунта с увеличением глубины гиперболически уменьшается, что связано с уменьшением времени воздействия вибровальца на элементарный объем внутри массива уплотняемого грунта и смещением вверх, в сторону дневной поверхности грунта, эквипотенциальных поверхностей статических напряжений сжатия грунта.

15. Сравнительный анализ процессов уплотнения грунта виброкатком с симметричным и комбинированным планетарными вибровозбудителями показывает, что эксцентричное смещение водила вибровозбудителя в фокус эллиптической части комбинированной беговой дорожки обеспечивает увеличение статического давления в верхних слоях грунта на 25 – 30 %, а в нижних слоях грунта на 10 – 15 % при неизменной статической массе катка и энергоемкости процесса уплотнения. Это объясняется как более интенсивным уплотнением верхних слоев грунта, так и ростом суммарной силы воздействия на грунт статического веса катка и интегральной вертикальной составляющей вынуждающей силы асимметричного планетарного вибровозбудителя. Данный эффект целесообразно реализовать для увеличения производительности виброкатка как путем увеличения толщины уплотняемого материала, так и за счет сокращения количества проходов катка для достижения заданного коэффициента уплотнения материала.

## **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В, Бостанов Б.О. Асимметричный планетарный вибровозбудитель вибрационных катков. Кинематика. Вестник ЕНУ, серия естественных и технических наук. - Астана, 2005. - Вып. №2(42).- С.112-120.
2. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В, Бостанов Б.О. Кинестатика асимметричного планетарного вибровозбудителя вибрационных катков. Вестник ЕНУ, серия естественных и технических наук. - Астана, 2005. - Вып. №4(44).-С.106-113.
3. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В, Бостанов Б.О. Кинематические характеристики планетарного вибровозбудителя с эллиптическим вальцом. Тезисы докладов Международной научной конференции «Проблемы теоретической и прикладной механики» (1-2 марта 2006 г.): - Алматы: Қазақ университеті.2006г.-С.211.
4. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В, Бостанов Б.О. Определение силовых характеристик вибровозбудителя с эллиптической дорожкой. Тезисы докладов международной 11-ой межвузовской конференции по математике и механике, посвященной 10-летию Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева (25-26 мая,2006, Астана), -С. 187.
5. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В, Бостанов Б.О. Определение силовых характеристик вибровозбудителя с эллиптической дорожкой. Вестник ЕНУ, серия естественных и технических наук. - Астана, 2006. - Вып. №6(52).- С.112-117.
6. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В, Бостанов Б.О. Планетарный вибровозбудителя с эллиптической дорожкой. Труды Всероссийской научно-технической конференции «Роль механики в создании эффективных материалов, конструкций и машин XXI века» (6-7 декабря 2006 г.) - Омск.: СибАДИ, 2006г.-С.66-70.
7. М.В. Дудкин, М.А. Сакимов, Е.С. Темирбеков, Б.О. Бостанов. Моделирование движения гибкого вальца дорожного катка по уплотняемой поверхности и его проверка экспериментальным путем. Труды КГТУ: научно-технический журнал Красноярского государственного технического университета. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006, №4. С. 59-68.
8. Темирбеков Е.С., Бостанов Б.О. Кинематика планетарного вибровозбудителя с комбинированной дорожкой. Тезисы докладов 64-й научно-технической конференции. - Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2007. - С. 149.
9. Бостанов Б.О. Эллипстік жолмен қозғалатын планетарлық дірілқоздырғыштың сипаттамалары. «Шоқан тағлымы - 12» Халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдары. Том VII. Жаңа технологиялар секциясы. – Көкшетау, 2007. 270-273 б.
10. Бостанов Б.О. Дірілқоздырғыш қозғалысының жалпы теңдеуі. Тезисы докладов Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения - 3», посвященной 50-летию основания КазГАТУ им. С. Сейфуллина. Том II. Секции: технические и естественные науки. - Астана, 2007. - С.31-32.

11. Бостанов Б.О. Планетарлық дірілқоздырғыш кинематикасы. II Ержановтық оқулар. Халықаралық ғылыми-техникалық конференция материалдары. Ақтөбе: Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе мемлекеттік университетінің Редакциялық - баспа бөлімі. 2007. 121-123 б.

12. Бостанов Б.О. Исследование движения эллиптического вибровозбудителя. «Проблемы динамики и прочности исполнительных механизмов и машин». III международная научная конференция 10-16.09.2007: тезисы докладов; Астраханский гос.тех.ун-т. с.59-60.

13. М.В. Дудкин, П.С. Кузнецов, Е.С. Темирбеков, Б.О.Бостанов. Расчет и анализ угловх координат проскальзывания инерционного бегунка по эллиптической беговой дорожке планетарного вибровозбудителя дорожных машин. «Инновационные технологии в образовании и науке» II Международная научно-методическая конференция. 09-10 ноября 2007 года, Зыряновск, РК. с.69-74.

14. М.В. Дудкин, Е.С. Темирбеков ., Б.О. Бостанов. Исследование кинематических параметров движения инерционного бегунка планетарного вибровозбудителя с эллиптической беговой дорожкой. Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева, №1 (35) март, 2007. с. 58-63.

15. Бостанов Б.О., Темирбеков Е.С., Бекетов Г.Ш., Турдалиев А. Эллипстік жолмен қозғалатын планетарлық дірілқоздырғыштың кинестатикасы. «Механика мен машина жасаудың Қазақстандағы жағдайы мен даму жолдары» атты Халықаралқ ғылыми конференциясының материалдары. Том 2. Машинатану және машина жасау секциясы. - Алматы: Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техни-калық университеті, 2007. - 25-29 б.

16. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В., Кузнецов П.С., Бостанов Б.О. Силовой анализ эллиптического планетарного вибровозбудителя дорожного катка. Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. -Астана, 2008. - Вып.№3(50). -С.381-386.

17. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В., Бостанов Б.О. Способ гладкого соединения частей комбинированного вальца. Международная научная конференция «Проблемы прочности транспортных конструкции и сооружений» 17-18 октября 2008 г. Тезисы. Ка зАТК. -Алматы, - С. 57.

18. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В., Бостанов Б.О. Плавное соединение вальца вибровозбудителя по заданным условиям непрерывности и касания. Материалы III международной научной конференции «Актуальные проблемы механики и машиностроения» 17-19 июня 2009 г. II том - Алматы: Издательство «ЭВЕРО»,2009 -С.118-122.

19. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В., Бостанов Б.О. Теоретические исследования планетарных вибровозбудителей с различной формой беговой дорожкидля дорожных катков. Монография. - Астана: ТОО «ЦСЭП Консалтинг», 2009.- 178с, илл.

20. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В., Бостанов Б.О. Полярное уравнение переходного участка вальца планетарного вибровозбудителя. Механика и строительство транспортных сооружений. Труды международ, науч.-практ. конф., г. Алматы. 28-29 января 2010. - Алматы: КазГАСА, 2010. - 624 . - С. 467-470.

21. Темирбеков Е.С., Дудкин М.В., Бостанов Б.О. Кинетостатика вибровозбудителя с комбинированной беговой дорожкой. Тезисы докладов 12-ой Межвузовской конференции по математике, механике и информатике (10-14 сентября 2008 г., Алматы). – С.50.

22. Бостанов Б.О. Движение асимметричного вибровозбудителя с комбинированной дорожкой. Тезисы докладов 12-ой Межвузовской конференции по математике, механике и информатике (10-14 сентября 2008 г., Алматы). – С.51

23. Бостанов Б.О. Кинематический метод определения места плавного соединения. Вестник ЕНУ, серия естественных и технических наук. - Астана, 2010. - Вып. №2(75).- С.317-321

24. А.С. РК № 53043 (04.04.2006) – Вибрационный каток.

25. А.С. РК № 63014 (28.01.2008) – Планетарный вибровозбудитель.

26. Патент № 22221 на изобретение РК (25.11.2009) – Планетарный вибровозбудитель.

## Бостанов Баянды Оспанович

### Жол таптауышының құрамалы дірілқоздырғышының кинематикасы мен динамикасын зерттеу

#### 05.05.04 - Жол, құрылыс және көтергіш-көлік машиналары

**Жұмыстың өзектілігі.** Қазіргі кезде топырақты тығыздауға арналған машиналар паркі әртүрлі типтен тұратын болып келеді, олар бір-бірінен тек қана құрылғыларымен ғана емес жұмыс істеу түрлері бойынша да ажыратылады.

Тығыздауыш машиналардың әртүрлілігі, жұмыс өнімділігінің төмендігі жол төсемдерін салу процестерін қиындата түседі, адам қорларының көптігін талап етеді, соңында жұмыс өндірісі кезінде өнімдердің бірлік құнын арттырады.

Сондықтан топырақты тығыздаудың жаңа тиімді тәсілдерін іздеудің экономикалық маңызы бар, ал осының негізінде өнімділігі жоғары топырақты тығыздау машиналарын жасау өзекті мәселе болып табылады.

Қазіргі кезде дірілді жол таптауыш болашағы зор және әмбебап тығыздаушы машина болып саналады. Дірілді жол таптауыштар автомагистральдарды, тротуарларды, жаяу жүргінші жолдарын және басқа да нысандарды салу кезінде тығыздау үшін қолданылады.

Вертикальды тербелістерді қамтамасыз ету - дірілқоздырғыш машиналарға тән ерекше сипат.

Тепе-теңдікте болмайтын элементтердің айналысы әсерінен инерциялық күштер (моменттер) туындататын центрден тепкіш діріл қоздырғыштар, оның ішінде планетарлық тұрпаттағы дірілқоздырғыштар, механикалық тербелістер қоздыру үшін практикада қолданылады. Алайда планетарлық дірілқоздырғыштар кеңінен қолданылмай келеді. Оған себептер көп, соның бірі планетарлық дірілқоздырғыш машиналардың параметрлерін есептейтін қолданыстағы әдістердің әлі де жетілмеуінде. Тек планетарлық дірілқоздырғыштың тиімділігін кешенді зерттеу және жол-құрылыс материалдарын тығыздайтын құрамалы планетарлық дірілқоздырғыштардың дірілді таптауыштармен өзара әрекеттесуі негізінде ғана нақтылау мен толықтырулар енгізуге болады.

Асимметриялық планетарлық дірілқоздырғыштардың кинематикасы мен динамикасына арналған біршама ғылыми жұмыстар бар. Алайда, оларда кейбір кинематикалық параметрлер есепке алынбаған және аксиоматикалар мен әдістердің қолданылуы нақтылауды талап етеді. Шеңберлік емес жүгіріс жолы бар планетарлық дірілқоздырғыштар іс жүзінде әлі толығымен зерттелінбеген.

**Зерттеу нысаны:** тығыздалушы ортамен өзара әсерлесетін және жол таптауыштарының біліктемелерінде орналасқан, жүгіріс жолдары әртүрлі формадағы планетарлық дірілқоздырғыштар.

**Зерттеу пәні:** жол таптауыштардағы дірілқоздырғыштардың реттелетін параметрлерінің тығыздалу процесін сипаттайтын шамалардың өзгеруіне тигізетін заңдылығын анықтау.

**Жұмыстың мақсаты:** тығыздалатын ортаға реттелмелі әсер ететін құрамалы планетарлық дірілқоздырғыштарды қолдану арқылы дірілді таптауыштардың тиімділігін арттыру. Шеңберлі емес (құрамалы) жолы бар асимметриялы планетарлық дірілқоздырғыштың кинематикасы мен динамикасын зерттеу арқылы тығыздаушы машиналардың өнімділігін арттыру өзекті мәселелердің бірі болып саналады және ол Қазақстан Республикасы индустриялық-инновациялық стратегиясынан шығатын мәселелерді шешуге бағытталған.

**Қорғауға шығатын жұмыстар:**

- беттестірілген полярлық және декарттық координаталар жүйесін пайдалану арқылы құрамалы планетарлық дірілқоздырғыш параметрлерін аналитикалық анықтау әдістемесі;

- үздіксіздік, жанасу және қисықтық радиусын ескеретін шарттарды қанағаттандыратын құрамалы дірілқоздырғыштың өтпелі учаскесіне арналған кониканың түрін және теңдеуін анықтау;

- жүгірткі жолы әртүрлі пішіндегі планетарлық дірілқоздырғыштың физикалық модельдерін экспериментті зерттеу нәтижелері және жетектеуіштің бұрыштық жылдамдығына, құрама жолдың шеңберлік бөлігінің радиусына және жүгірткінің массасына байланысты құрамалы планетарлық дірілқоздырғыштың мәжбүрлік күшін анықтайтын регрессия теңдеулері;

- таптауыштың жылдамдығына және құрамалы планетарлық дірілқоздырғыштың параметрлеріне байланысты дірілді біліктеменің төселімге жасайтын статикалық қысымы шамасының регрессиялық теңдеулері және экспериментті зерттеулердің нәтижелері.

**Зерттеудің практикалық мәні:**

- тығыздау процесінің тиімділігін арттыратын жол таптауышының жұмыс режимін пайдалану кезінде таңдауға болатын құрамалы планетарлық дірілқоздырғыш параметрлерін негіздеуде, инженерлік және жобалау есептемелері үшін математикалық байланыстар жасауда;

- құрамалы планетарлық дірілқоздырғышы бар жол таптауышымен тығыздау процесінің тиімділігін зерттеуге арналған эксперименттік стенд құрастыруда;

- тығыздау процесін тиімділігін арттыратын, тығыздау процесімен және жаңа реттелмелі мәжбүрлік күші бар құрамалы планетарлық дірілқоздырғыштың параметрлерін есептеу әдісіменінде;

- жүгірткі жолы әртүрлі болатын планетарлық дірілқоздырғыштың кинематикалық және динамикалық параметрлерін анықтау әдістемесінде.

**Жарияланымдар.** Жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша 26 баспа жұмыстары басылып шықты.

## **Bostanov Bayandy Ospanovich**

### **Development of kinematics and dynamics(changes) of the combined generator of vibrations of road skating rinks(rolls)**

#### **5.05.04 – Road, Construction and Lifting-and-Transporting Machines**

**Urgency of work.** Now the park of machines for condensation грунтов consists of various types which differ from each other not only a design, but also principles of work.

Разнообразие types of condensing machines, and also their rather low productivity complicate technological process on erection of a road cloth, demand attraction significant human ресурсов, that, finally, raises cost of a unit of production by manufacture of works.

Thus, search of new effective ways of condensation грунтов has the important economic value, and creation on their basis of high-efficiency condensing machines is an actual problem(task).

Now the most perspective and universal condensing machines are road generators of vibrations.

Road vibrating skating rinks(rolls) are intended for condensation of coverings and the bases at construction and repair of highways, sidewalks, foot paths, access roads and other objects.

Prominent feature of these machines is presence of generators of the vibrations providing their vertical fluctuations.

For excitation of mechanical fluctuations practical application was received centrifugal generators of vibrations which create inertial forces (moments) due to rotation of unbalanced elements, including with generators of vibrations of planetary type. Use вибровозбудителей planetary type in road construction is one of effective methods of increase of productivity of condensing machines. At the same time planetary generators of vibrations yet have not found wide application.

It is a little bit(some) reasons of similar position, and one of them consists in imperfection of existing methods of calculation of parameters of planetary generators of vibrations. And additions which it is necessary to bring to methods of calculation, it is possible to establish specifications only on the basis of complex research of efficiency of planetary generators of vibrations and interaction of a vibrating skating rink(roll) with the combined planetary generator of vibrations with a condensed road-building material.

Are available a number(line) of scientific works where researches of kinematics and динамики asymmetric planetary вибровозбудителя are carried out(spent). However, thus some kinematic parameters were not taken into account(discounted), and также specification applied axiomatics and methods demand.

Practically are not investigated planetary вибровозбудители with a not round racetrack.

**Object of research:** planetary generators of vibrations with the various form of the racetrack, established in rollers of road skating rinks(rolls) and cooperating with the condensed environment.

**Object of research:** revealing of laws of influence of adjustable parameters of planetary generators of vibrations of road skating rinks(rolls) on changes of the sizes describing process of condensation.

**The purpose of work** consists in increase of efficiency of vibrating skating rinks(rolls) by use of the combined planetary generators of vibrations with adjustable influence on the condensed environment.

Work on increase of productivity of condensing machines, by research of kinematics and dynamics(changes) of the asymmetric planetary generator of vibrations with the not round (combined) racetrack is actual and is directed on the decision of the problems, following directions of strategy of industrial innovational development of Republic of Kazakhstans.

**On protection are born(taken out):**

- A technique of analytical definition of parameters of inertial system KPV with application of the combined polar and cartesian systems of coordinates;

- A technique of definition of a kind and the equation коники for a transitive site combined вибровозбудителя, satisfying conditions of a continuity, a contact and in view of radius of curvature;

- Results of experimental researches of physical models of planetary generators of vibrations with the various form of a racetrack and regress of compelling force of the combined planetary generator of vibrations from size of angular speed drove, radius of a round part of the combined racetrack and weight of an inertial roller;

- results of experimental researches and регрессионные dependences of size of static pressure of a vibrating path качения on a ground from parameters of the combined planetary generator of vibrations and speeds of a skating rink(roll);

**The Practical importance** of researches consists in the following:

- Mathematical dependences for engineering calculation and a substantiation of parameters of new planetary generators of vibrations of the road skating rinks(rolls), allowing as on a design stage are developed, and while in service to choose rational parameters of the combined planetary generators of vibrations and modes of operation of the road skating rinks(rolls) raising efficiency of process of condensation;

- In the created experimental stands research of efficiency of process of condensation of road-building materials by road skating rinks(rolls) with the combined planetary generators of vibrations, - in the developed both created designs and design procedures of parameters new КТБВ road skating rinks(rolls) with adjustable compelling force and influence on the condensed environment, allowing to raise(increase) efficiency of process of condensation.

- A technique of definition of kinematic and dynamic parameters planetary вибровозбудителей with the various form of a racetrack;

**Publications.** By results of executed research it is published 26 printed works.

Work has theoretical and experimental character.