



УДК 628.899

Г.А. Гурьянов

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

АНАЛИЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ОЧИСТИТЕЛЕЙ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ И МАСЕЛ ГИДРОСИСТЕМ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Для увеличения надежности и долговечности работы гидроагрегатов строительных и дорожных машин (СДМ) необходимо выполнять ряд мероприятий, позволяющих снизить степень абразивного износа. Особое место при этом занимает очистка рабочей жидкости от механических примесей.

Для очистки рабочей жидкости гидропривода СДМ преимущественно используются фильтры, которые, однако, обладают рядом существенных недостатков: высокой стоимостью, быстрой засоряемостью, малой пропускной способностью и невозможностью восстановления фильтроэлементов. К достоинствам фильтров следует отнести простоту конструкции, несложное обслуживание.

Однако в условиях увеличивающихся значений расходов (до 500 л/мин) и давлений (до 32 МПа) рабочей жидкости гидросистем СДМ усовершенствование и повышение эффективности системы очистки рабочей жидкости должно идти, очевидно, по пути использования силовых полей (центробежного, инерционного, магнитного, электростатического и др.).

Магнитные очистители используют ферромагнитные свойства некоторых частиц механических загрязнений. Применение их ограничено тем, что они выделяют из жидкости только ферромагнитные частицы, содержание которых в механических примесях относительно невелико (10 - 20 %), и не улавливают наиболее опасные для пар трения частицы песка и кварца, которые составляют 40 - 60% от массы примесей.

Принцип действия электростатических очистителей основан на том, что частицы механических примесей (как металлические, так и неметаллические) при движении в неполярных диэлектрических жидкостях (например, минеральных маслах) получают электрический заряд от трения о жидкость и могут быть притянуты под действием кулоновских сил к противоположно заряженному электроду, где и оседают. Но частицы, осевшие на электродах, теряют свой заряд и, утратив силу электростатического притяжения, могут быть унесены потоком жидкости из очистителя.

Из очистителей, использующих центробежные силы, наиболее распространены гидроциклоны и центрифуги. Недостатком, сильно ограничивающим применение гидроциклонов, является низкая тонкость и эффективность очистки.

Действие центрифуг основано на использовании поля центробежных сил при вращении рабочего органа - ротора, который передает вращение находящейся в нем жидкости. Под воздействием поля центробежных сил частицы механических загрязнений выделяются из жидкости и оседают на стенку вращающегося ротора, где и удерживаются за счет тех же сил.

Центрифуги обладают следующими преимуществами перед другими очистителями: сохраняют постоянную пропускную способность и низкое гидравлическое сопротивление независимо от продолжительности работы; обладают большой грязеемкостью при небольших габаритах; позволяют быстро и легко восстановить очистительные свойства; удаляют из жидкости в первую очередь наиболее тяжелые и твердые частицы механических примесей, наиболее отрицательно влияющие на работу пар трения; не требуют предохранительных устройств; не имеют дорогостоящих сменных элементов.

Однако применяемые в настоящее время центрифуги в большинстве имеют и недостатки: более сложная конструкция, чем у других очистителей; ограниченная тонкость очистки (до 15 мкм); эффективность очистки в центрифугах ухудшается с увеличением расхода жидкости через очиститель.

Учитывая сочетание и весомость достоинств и недостатков различных очистителей, больший эффект, очевидно, даст использование для гидропривода СДМ центрифуг, что подтверждается их применением вместо фильтров на некоторых предприятиях, эксплуатирующих СДМ, позволившим увеличить срок службы гидрооборудования в 3 - 4 раза при общем снижении затрат на обслуживание, и продлить срок службы рабочей жидкости до замены в 2,5 - 3 раза.

При этом существующие способы центробежной очистки требуют дальнейшего совершенствования. Благоприятные условия для осаждения частиц можно создать, например, уменьшением толщины потока жидкости в роторе или увеличением времени нахождения жидкости в роторе за счет применения в роторах центрифуг дополнительных ребер и вставок.

Так, малую толщину потока в роторе имеет центрифуга по а.с. № 644544 (рис. 1). Выделение частиц загрязнений из жидкости происходит под действием центробежной силы при ее движении тонким слоем в зазоре между конусом и конической тарелкой, а отделение частиц от жидкости происходит при резком повороте потока в конце образующей конуса. Эффективность очистки за один проход жидкости через очиститель составляет 82 - 87 % при тонкости очистки $15 \div 20$ мкм, но изменение расхода жидкости, по сравнению с рассчитанным относительно геометрических параметров ротора, дает резкое снижение эффективности очистки (на 15 - 20 %).

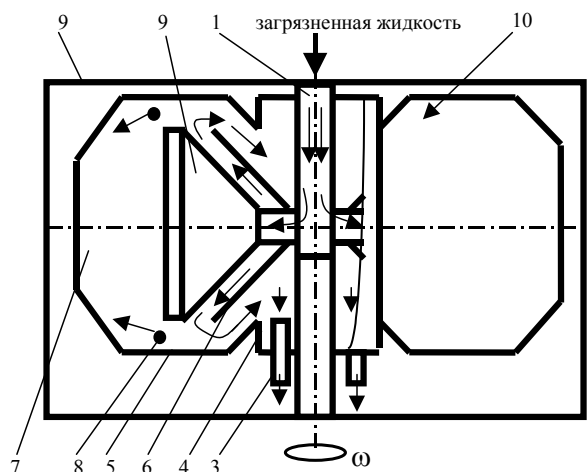


Рис. 1. Центрифуга по а.с. № 644544: 1 – полая ось; 2 – ротор; 3 – отводные трубки; 4 - цилин-

дрическая обечайка; 5 – стаканы; 6 – коническая тарелка; 7 – зона сбора осадка; 8 – частица загрязнений; 9 – конус; 10 – корпус

Дополнительные вставки, создающие лабиринтный поток, увеличивают время нахождения жидкости в роторе. Такой способ повышения эффективности, дающий неплохие результаты, использован в центрифуге по а.с. № 1143470 (рис. 2, а) и по а.с. № 1747182. Поток жидкости, двигаясь в роторе зигзагообразно между дисками от оси к периферии ротора и обратно, находится в центрифуге гораздо дольше по сравнению с прямолинейным движением, а следовательно, повышается вероятность выделения из жидкости частиц загрязнений. Недостатками же являются трудность очистки ротора от загрязнений, проскальзывание жидкости относительно ротора.

Увеличению времени нахождения жидкости в роторе также служат устанавливаемые в нем дополнительные кольцевые ребра, например в центрифуге по а.с. № 967581 (рис. 2, б) и по а.с. № 1039577. Протекающая через ротор жидкость разделяется в нем на два слоя – поверхностный и межреберный. В межреберном слое жидкость совершает вихревое движение и за счет этого увеличивается время нахождения ее в зоне максимального действия центробежной силы. Однако основная масса жидкости, проходящей через очиститель, движется с большой скоростью в поверхностном слое и вместе с ним уносит из очистителя значительное количество загрязнений.

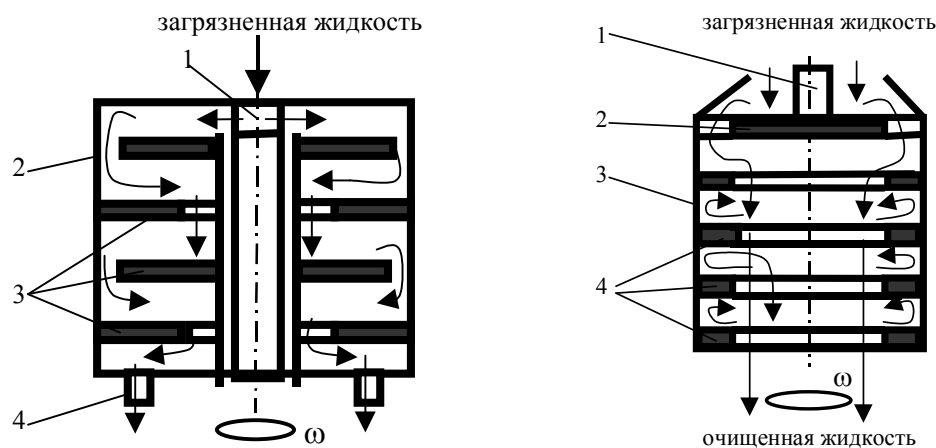


Рис. 2. Центрифуги: а) по а.с. № 1143470: 1 – полая ось; 2 – ротор; 3 4 – отводные трубки(сопла); б) Центрифуга по а.с.№ 967581: 1 – приводной вал; 2 – направляющий диск; 3 – ротор; 4 – ребра

Увеличения времени нахождения жидкости в роторе добиваются также применением вставок, заставляющих жидкость двигаться по спиральной траектории (а.с. № 1074603), но спиральный канал при этом забивается осадком и пропускная способность очистителя резко падает.

Еще одним способом повышения качества очистки жидкостей является применение очистителей, имеющих две и более ступеней очистки. Так, в очистителе по патенту Великобритании № 1525833 ротор центрифуги установлен на неподвижной оси, внутри которой выполнен гидроциклон, являющийся предварительной ступенью очистки (рис. 3, а). Загрязненная рабочая жидкость подается сначала в гидроциклон, а затем – на вторую ступень в ротор центрифуги. Тонкость очистки такого очистителя невысока. В центрифуге

ге по а.с. № 957970 (рис. 3, б) загрязненная рабочая жидкость сначала очищается под действием центробежной силы во вращающемся роторе на первой ступени очистки, после чего отводится из него через фильтроэлементы, в которых проходит дополнительную очистку на второй ступени. Необходимость обеспечения высокой пропускной способности и предотвращение быстрого засорения фильтроэлементов обуславливают тонкость очистки не выше 30 - 40 мкм.

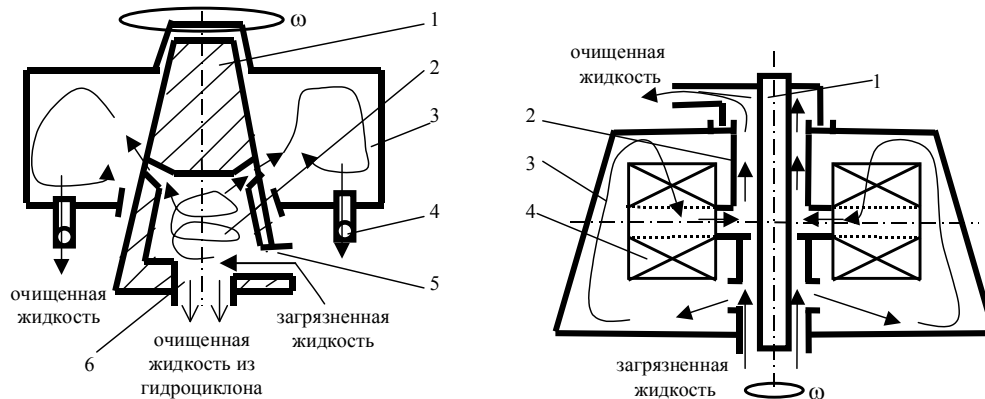


Рис. 3. Центрифуги: а) по а.с. № 1525833Я: 1 – неподвижная ось; 2 – гидроциклон (1^я ступень); 3 – ротор (2^я ступень); 4 – сопла; 5 – подводящий патрубкок; 6 – отводящий патрубкок; б) по а.с. № 957970: 1 – ось; 2 – колонка; 3 – ротор (1^я ступень); 4 – фильтроэлементы (2^я ступень)

Еще один способ повышения эффективности очистки – это применение в одном очистителе двух и более роторов (центрифуга по а.с. № 563191). Однако многоступенчатые центрифуги обычно имеют сложную конструкцию и большие габариты.

Зачастую же для выделения частиц размером 5 - 10 мкм и менее оказывается недостаточно центробежной силы. Если на частицу в жидкости, движущуюся в центробежном поле, будет действовать еще какая-либо сила, то закон движения частицы в жидкости будет выглядеть следующим образом:

$$M \cdot \frac{dV}{dt} = C + F - P,$$

где М - масса частицы, кг;

dV/dt - ускорение движения частицы в жидкости, м/с²;

С - центробежная сила, Н; F - дополнительная сила, действующая на частицу, Н;

P - сила сопротивления движению частицы в жидкости, Н.

Из этого уравнения нетрудно видеть, что частица той же массы при действии на нее суммы сил будет двигаться к стенке ротора с большим ускорением, чем при обычном центрифугировании, то есть время осаждения частицы будет в этом случае гораздо меньше. Именно это обстоятельство обусловило применение центрифуг, комбинированных с другими типами очистителей (электростатическими, магнитными, инерционными и др.).

Интерес представляют конструкции центрифуг, использующие сочетание центробежных и инерционных сил при резком изменении направления движения жидкости в зоне наибольшей интенсивности центробежного поля. Такой принцип действия имеют цен-

трифуги по а.с. № 258272, № 301162, № 806131, № 957929 и другие, выделяющие механические примеси из рабочей жидкости в малом зазоре на участке с максимальным значением центробежной силы. Конструктивная схема такого очистителя показана на рис. 4, а. Загрязненная рабочая жидкость поступает в ротор и совершает резкий поворот в полость двумя дисками. При этом возникает инерционное силовое поле, которое складывается с центробежной силой от вращения ротора и гравитационной силой. Под действием суммы сил частица загрязнений отделяется из основного потока к стенке ротора.

В центрифуге по а.с. № 774608 (рис. 4,б) для достижения тонкости очистки 10 мкм, наряду с использованием сочетания центробежной и инерционной сил, также используется последовательное прохождение двух ступеней очистки - между ротором и корпусом (1-я ступень) и между ротором и дополнительной камерой (2-я ступень). Очиститель за счет использования суммы сил и применения многоступенчатой очистки достаточно эффективен (тонкость очистки 12 – 15 мкм). Несколько снижает тонкость очистки то, что поток жидкости идет от большего диаметра к меньшему.

Эксплуатация очистителей, сочетающих центробежную и инерционную силы, показала отсутствие интенсивного изнашивания и поломок основных гидроагрегатов, высокое качество очистки рабочей жидкости (тонкость очистки – до 20 мкм, средняя концентрация загрязнений – 0,004 Ф 0,009 % по весу).

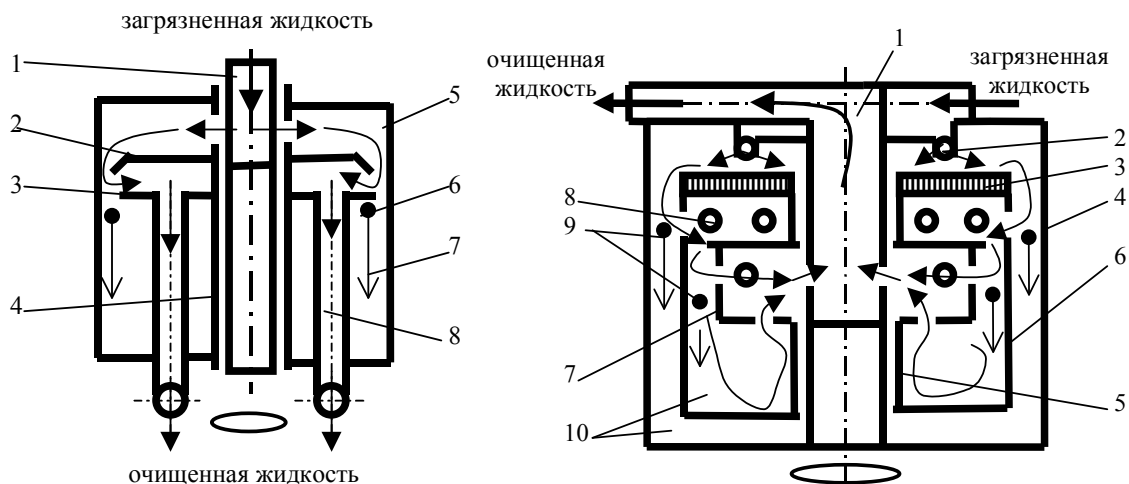


Рис. 4. Центрифуги: а) по а.с. № 258272: 1 – полая ось; 2 – верхний диск; 3 – нижний диск; 4 – колонка ротора; 5 – ротор; 6 – частица загрязнений; 7 - зона сбора осадка; 8 - отводные трубки с соплами; б) по а.с. № 774608: 1 – полая ось; 2 – сопла; 3 – лопатки турбины; 4 – корпус; 5 – колонка; 6 – ротор; 7 – цилиндрическая обечайка (дополнительная камера); 8 – отверстия; 9 - частицы загрязнений; 10 – зоны сбора осадка

Совместное применение центробежного и магнитного полей используется в центробежных очистителях с установленными в роторе постоянными магнитами (центрифуга по а.с. № 1551425). Но такие очистители, как и чисто магнитные, оказывают суммарное действие полей только на ферромагнитные частицы, что сдерживает их применение.

Еще один способ увеличения силы, воздействующей на частицу примесей, – это сочетание вращений ротора вокруг вертикальной и горизонтальной осей, что позволяет уве-

личить центробежную силу в 1,2 – 1,4 раза. Такой принцип использован в центрифуге по а.с. № 1556761. Но такие центрифуги имеют сложную конструкцию, значительные габариты и вес, затрудненную очистку ротора от осадка и повышенную мощность привода.

Поскольку электростатические очистители обладают очень высокой тонкостью очистки (до 0,5 мкм), то их сочетание с центрифугами может быть весьма эффективным. Даже если заряженная частица загрязнений, попав на электрод, потеряет свой заряд, то она может удерживаться в роторе за счет центробежных сил. Поэтому совмещение центробежного и электрического полей может быть весьма полезным и интересным. Совместное действие этих полей получило применение в центрифугах с электризатором, в которых электрическое поле может создаваться подведением напряжения от постороннего источника или же в результате трибоэлектрического эффекта, возникающего при трении ротора, изготовленного из диэлектрического материала, о специальные электризующие колодки. Так как заряженные электроды лучше всего располагать в зоне действия максимальной центробежной силы (на роторе), то подвод напряжения от внешнего источника питания к ротору становится затруднительным, поэтому более интересны центрифуги с трибоэлектризацией ротора. Пример такого очистителя приведен на рис. 5, а. Ротор выполнен из органического стекла и его электризация происходит во время вращения при трении об электризующую колодку. Действие на частицы механических загрязнений суммы центробежной и электростатической сил увеличивает эффективность очистителя на 10% и позволяет почти полностью удалить из жидкости частицы размером свыше 10 мкм. Однако трение о накладки создает большое дополнительное сопротивление вращению ротора. Трибоэлектризация возникает также при трении потока диэлектрической жидкости об электроды, расположенные внутри ротора, например в центрифуге по а.с. № 2014153 (рис. 5, б). В роторе этой центрифуги имеются сетки-электроды, электризуемые за счет трения проходящей через них жидкости. Частицы загрязнений тормозятся в электрическом поле, возникающем между сетками и между сеткой и ротором, и оседают на стенках ротора или на сетках под действием электростатических и центробежных сил.

Изучение различных центробежных очистителей позволяет предположить, что наиболее перспективными для улучшения качества очистки могут быть такие способы, как сочетание электроцентробежной очистки со вставками, увеличивающими время нахождения жидкости в роторе, сочетание центробежной и инерционной сил с электростатическим полем и другие подобные комбинированные способы (обязательно при тонкослойном потоке жидкости в роторе центрифуги). Классификация способов повышения эффективности работы центрифуг приведена на рис. 6.

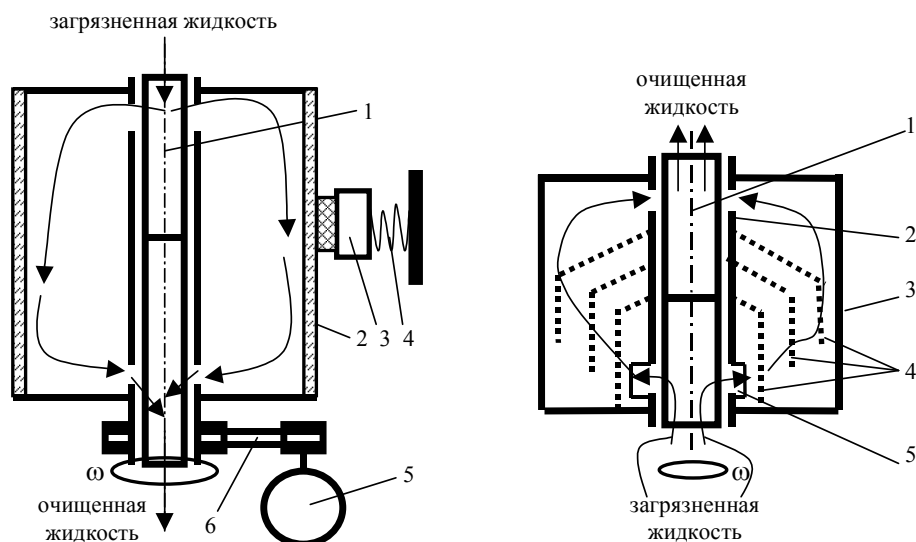


Рис. 5. Центрифуги: а) ЛИСИ: 1 – полая ось; 2 – ротор; 3 – электризующая колодка; 4 – пружина; 5 – электродвигатель; 6 – ременная передача; б) по а.с. № 2014153: 1 – полая ось; 2 – колонка ротора; 3 – ротор; 4 – сетки – электроды; 5 – лопатки турбины

При этом центробежный очиститель должен отвечать следующим основным критериям эффективности: высокая тонкость очистки при требуемой производительности; выделение большего количества механических примесей, чем возможное их поступление; стабильная работа; минимальное гидравлическое сопротивление при максимальной пропускной способности; максимально возможная грязеемкость ротора; отсутствие проскальзывания жидкости относительно ротора; частицы загрязнений, осевшие на стенках ротора не должны вымываться потоком жидкости; безотказная работа в течение технически обоснованного срока эксплуатации; простое и быстрое восстановление очистительных свойств; рациональная конструкция, небольшие габариты и вес. При этом желательно в конструкции очистителя обеспечить: несколько ступеней очистки (2 и более), сочетание нескольких силовых полей, подачу жидкости от оси к периферии ротора, тонкослойный поток жидкости, вращение ротора в воздушной среде.

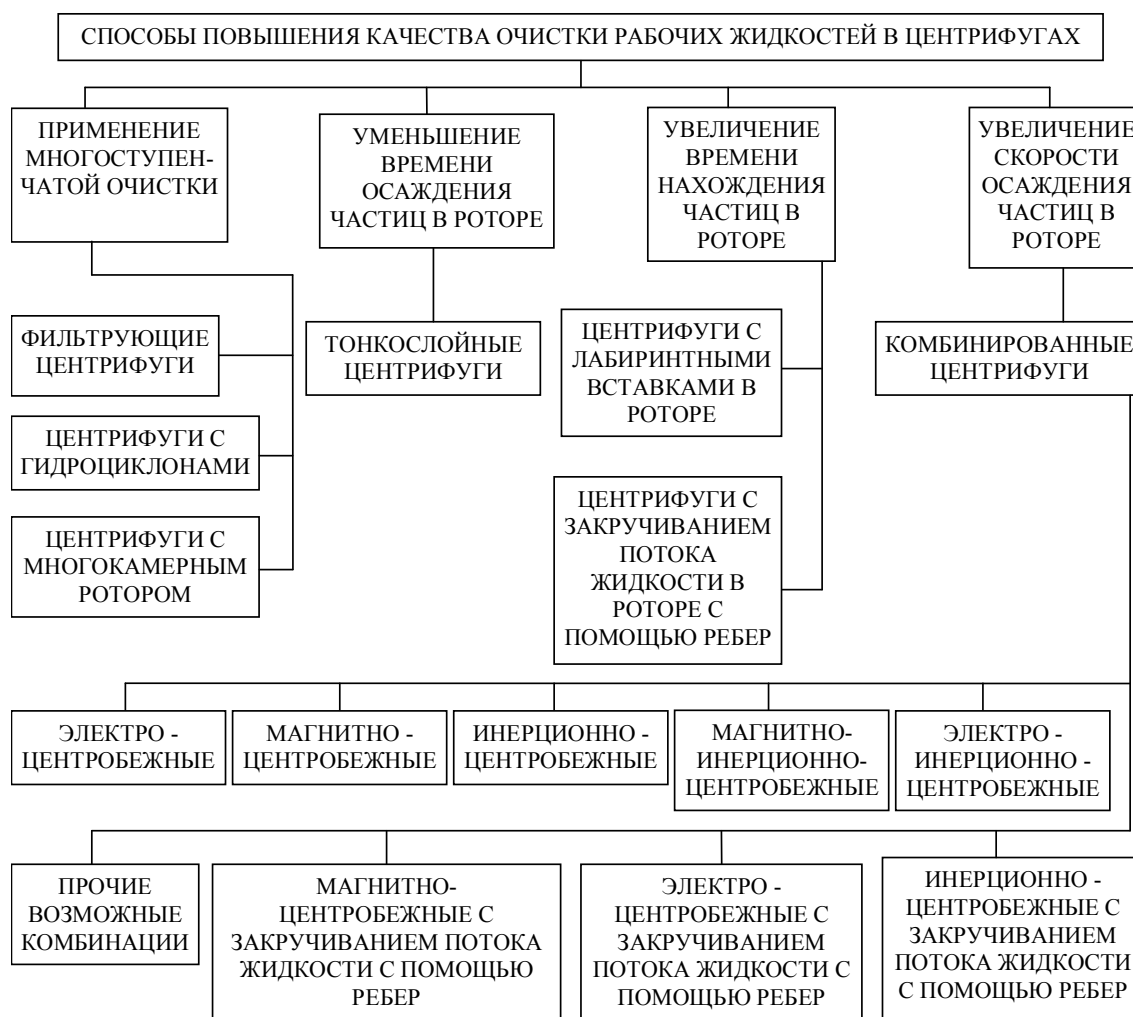


Рис. 6. Классификация способов повышения эффективности работы центрифуг

Получено 4.05.05

УДК 625.7.084

М.В. Дудкин, М.А. Сакимов

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

А.К. Киялбаев

КаздорНИИ, г. Алматы

П.С. Кузнецов

АГТУ, г. Барнаул

ДОРОЖНЫЙ КАТОК С УПЛОТНЯЮЩИМ ВАЛЬЦОМ ПЕРЕМЕННОЙ КРИВИЗНЫ

Процесс уплотнения – один из завершающих этапов возведения дорожного покрытия – во многом определяет качество сооружения в целом. Качество дорожного строительства зависит от совершенства технологии, организации производства, технической оснащен-

ности [1].

Машины и оборудование для уплотнения грунтов предназначены для создания и восстановления плотности и прочности грунтов, уложенных в инженерные сооружения, придания им необходимой устойчивости, несущей способности и водонепроницаемости. Качество уплотнения оценивается отношением фактической плотности грунта к его максимальной стандартной плотности, определяемой методом стандартного уплотнения. Плотность верхних слоев насыпи автомобильной дороги должна быть не менее 98 % стандартной, нижних слоев – не менее 95 % [2]. Достижение такой высокой плотности возможно только при выдерживании технологических требований к свойствам уплотняемого грунта и правильном подборе уплотняющей техники.

Для уплотнения асфальтобетонных смесей применяют дорожные катки статического и вибрационного действия с гладкими вальцами, а также катки на пневматических шинах. Каждый вид этих катков имеет несколько типоразмеров, отличающихся теми параметрами, которые определяют интенсивность воздействия на уплотняемый слой.

Технология уплотнения дорожного покрытия вальцевыми катками предусматривает использование, как правило, нескольких комплексов с различными типоразмерами катков. Применение таких комплексов должно обеспечивать необходимое качество работ, которое в основном определяется плотностью и показателем водонасыщения. Критериями оценки эффективности комплексов являются производительность и стоимость уплотнения покрытия. Применение комплексов обусловлено и спецификой уплотнения дорожных покрытий и необходимой «дозировкой» уплотняющего действия различных катков. Эффект уплотнения дорожно-строительных материалов достигается тогда, когда контактное давление вальца или колеса на уплотняемую поверхность приближается к пределу прочности слоя материала, но не превышает этот предел [3]. При несоблюдении этого условия невозможно достигнуть требуемых плотности и ровности покрытия. Прочность асфальтобетонной смеси и её сопротивляемость деформированию не остаются постоянными, а возрастают в процессе уплотнения из-за остывания смеси и увеличения её плотности. При этом прочность слоя возрастает в 7Ф10 раз, а сопротивляемость деформированию – в 12Ф20 раз.

Эффект уплотнения также зависит от напряженного состояния слоя, которое определяется контактным давлением. Максимальное контактное давление σ_{\max} (кН/м²), возникающее в любой точке поверхности слоя при проходе через нее катка, может быть определено из зависимости [4]:

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\frac{q \cdot E_0}{R}},$$

где q – линейное давление наиболее нагруженного вальца катка, которое находится как отношение передаваемой вальцом на поверхность слоя силы тяжести к ширине вальца, кН/м; E_0 – модуль деформации слоя, определяемый с учетом влияния его основания, кН/м²; R – радиус вальца, м.

Радиусы вальцов катков отличаются друг от друга незначительно и потому за основной параметр катка, определяющий эффект уплотнения, может быть принято линейное давление.

Комплекс катков, состоящий из легкого, среднего и тяжелого типов, которые имеют оптимальное линейное давление, соответственно, 15–20, 35–40 и 50–60 кН/м, позволяет начинать укатку при высоких температурах асфальтобетонной смеси (130–135°С), что

обеспечивает высокое качество уплотнения за меньшее число проходов. Применяя комплекс статических гладковальцовых катков, можно получить асфальтобетонное дорожное покрытие, полностью отвечающее техническим требованиям. Эти катки просты по конструкции и не вызывают трудностей при эксплуатации, однако на месте работ необходимо иметь не менее трех катков различных типоразмеров. Наличие большого количества единиц катков затрудняет организацию четкой их работы и размещение этого оборудования на ограниченном участке дорожной полосы. Вследствие этого комплекс машин, обеспечивающий процесс устройства конструктивных слоев дорожной одежды, обладает низкой производительностью, высокими показателями энерго- и металлоемкости, насыщен людскими ресурсами.

Применение вибрационных катков позволяет посредством вибрации интенсифицировать воздействие вальца на уплотняемый материал и многократно уменьшить вес катка. Например, при уплотнении асфальтобетонной смеси, превышающей 100-110°C, вибрационный каток эквивалентен статическому, масса которого в 3–3,5 раза больше [3]. Уплотнение смеси можно вести одним вибрационным катком массой 4–6 т, начиная укатку при выключенных вибраторах и заканчивая при включенных, с их наибольшей вынуждающей силой. Однако в этом случае круговое действие вынуждающей силы может отрывать валец катка от уплотняемой поверхности, что в итоге приведет к волнообразованию на поверхности уплотняемой смеси. При неоспоримых преимуществах вибрационных катков с дебалансным вибровозбудителем перед статическими, они имеют и ряд недостатков: большая масса вовлекаемых в колебания частей катка и, как следствие, высокий уровень вибрации рамы и рабочего места водителя; низкая надежность подшипниковых узлов и резинометаллических амортизаторов. Так, по данным фирмы Amman-Duomat Verdichtung (Швейцария), подшипники вальца, работая в тяжелых условиях, выдерживают лишь 25 часов непрерывной работы [5]. Также существенным недостатком таких катков являются низкие эргономические показатели и особенно защита оператора от вибрационных воздействий и повышенного шума.

Катки на пневматических шинах имеют высокую производительность благодаря возможности начинать укатку при высоких температурах смеси (130-140°C), когда она подвижна и легко уплотняется. Высокая температура уплотняемого слоя, более равномерное распределение давлений по контактной поверхности и боковое обжатие смеси близкорасположенными колесами обеспечивают высококачественное уплотнение. Контактное давление в таких катках зависит от давления в шинах. С повышением нагрузки на колесо контактное давление возрастает. Недостатком катков на пневматических шинах является практическая невозможность достижения требуемой ровности покрытия [3]. Неровности могут быть как в продольном, так и в поперечном направлениях. В поперечном направлении неровности образуются из-за наличия зазоров между колесами, а в продольном причиной неровностей является колебание всей массы катка, которое обусловлено непосредственно шинами (как упругими элементами), особенно при наезде колес на отдельные, даже незначительные неровности поверхности. Поэтому для отделки поверхности на заключительной стадии уплотнения после пневмоколесного обычно применяют тяжелый, гладковальцовый каток статического действия.

Попытки совместить преимущества жестковальцовых и пневмоколесных катков, избавившись от присущих им недостатков, реализовались в катках комбинированной компоновки, у которых одна ось оборудована пневматическими колесами, а другая – одним

сплошным или разрезным гладким металлическим вальцом. Комбинированный метод уплотнения, включающий вибрационное воздействие на материал, является наиболее эффективным, но применение катков комбинированного типа требует наличия зоны разворота катка при уплотнении в обратном направлении, так как расположение пневмоколес по ходу катка при чистовом уплотнении может существенно снизить ровность уплотняемой поверхности.

Альтернативой гладковальцовым каткам, в которых эти недостатки уменьшены, а преимущества сохранены и соединены с преимуществами пневмоколесных катков (более равномерное распределение давлений по контактной поверхности, обеспечивающее высококачественное уплотнение), могут стать виброволновые катки [6].

Виброволновой дорожный каток отличается от вибрационного катка тем, что его рабочий орган не колеблется, а периодически деформируется, что приводит к интенсификации уплотнения дорожно-строительных материалов. В виброволновом вальце вибрация на уплотняемый материал передается через деформируемую поверхность, поэтому он сочетает в себе преимущества вибрационных катков (динамическое воздействие на уплотняемый материал) и пневмоколесных катков (мягкость воздействия на уплотняемый материал). Поскольку в виброволновом вальце вибрирует не весь вибровалец, а вибродеформируется одна обечайка, вибрация рамы виброкатка значительно уменьшена. К тому же, благодаря своим упругим свойствам, обечайка одновременно выполняет функцию виброзащиты рамы катка, и специальных средств виброзащиты для виброволнового катка не требуется. Есть недостатки и в данных катках: необходимость находиться внутри вальца для выполнения работ при ремонте, сложность совмещения опорных роликов при повороте вальца, большая концентрация напряжений на опорных роликах, малая транспортная скорость.

Наибольшая эффективность процесса уплотнения грунтов и асфальтобетонных смесей достигается тогда, когда давления под рабочими органами катков поддерживаются близкими к пределу прочности уплотняемого материала. Это обуславливает необходимость регулирования силового воздействия катков на покрытие в зависимости от прочностных свойств последнего.

Варьировать давления под вальцами катка в широком диапазоне позволяет применение на виброкатках вибровозбудителей планетарного типа, в том числе асимметричных планетарных вибровозбудителей (АПВ) [7]. Виброкатками с АПВ можно генерировать большую вынуждающую силу, не нарушая эргономических характеристик даже легкого катка ввиду направленного действия этой силы. Причем частота колебаний и показатель давления под вальцами соизмеримы с частотой и давлением тяжелого катка. Недостатком данных катков является то, что при большом давлении на уплотняемый материал радиус вальца легкого или среднего катка остается достаточно малым, чтобы под действием большой вынуждающей силы вальцу не провалиться в уплотняемый материал и не сдвинуть материал в горизонтальной плоскости, что в итоге приведет к волнообразованию или трещинообразованию на уплотняемой поверхности. Для исключения данного недостатка необходимо использовать вальцы с большим радиусом кривизны, что невозможно, например, на катках легкой серии, так как из-за увеличенной площади контакта с уплотняемым материалом уменьшится линейное давление на материал при его статическом уплотнении, увеличится высота катка в целом, да и эргономические показатели катка значительно ухудшатся. Преимуществом катков с АПВ является наличие вынуждаю-

щей силы направленного действия, ориентированной в сторону уплотняемой поверхности, значение которой на порядок больше, чем у виброкатков с дебалансным вибровозбудителем. У катков с АПВ от действия вибрации разгружены подшипники и амортизаторы, так как вынуждающая сила передается непосредственно на обечайку вальца и далее на уплотняемый материал.

Применение вальцов традиционной конструкции не позволяет спроектировать универсальный каток, обеспечивающий оптимальные параметры уплотнения дорожно-строительных материалов даже за несколько проходов по одному следу. Существующими катками, даже при работе на повышенных скоростях, затрачивается довольно значительное время на уплотнение покрытия. Поэтому не всегда удается достичь требуемой степени уплотнения из-за неэффективности укатки при низких температурах. При уплотнении асфальтобетонных смесей не используется наиболее эффективный интервал температур 130...160°C. Это объясняется отсутствием рабочих органов, способных эффективно и качественно работать в указанном температурном интервале.

Создание и поддержание на протяжении всего процесса уплотнения условий, при которых происходит равномерное обжатие слоя по глубине, а напряженное состояние слоя способствует развитию в материале пластических сдвигов и сравнительно равномерному распределению их по деформируемому объему, является в настоящее время одним из главных направлений в интенсификации процесса укатки дорожно-строительных материалов.

Процесс уплотнения дорожно-строительных материалов наиболее эффективен, когда максимальные контактные давления под рабочими органами катков изменяются в строгом соответствии с изменением предела прочности уплотняемого материала на всем протяжении укатки, когда давления под рабочим органом уплотнителя приближаются по своему значению к пределу прочности материала, но не превышают его. На каждом этапе процесса уплотнения интенсивность воздействия рабочих органов на слой материала должна соответствовать изменяющимся свойствам смеси. При излишне высоких контактных давлениях будет происходить пластическое течение материала из-под вальцов катка, что влечет за собой еще и волнообразование, существенно ухудшающее ровность поверхности. При недостаточных давлениях не будет достигнута требуемая плотность слоя, что отрицательно скажется на прочности, несущей способности и долговечности дорожного покрытия. Поэтому остро встал вопрос о создании дорожного катка с регулируемым статическим давлением на уплотняемую поверхность. Чтобы уменьшить сдвиг материала на первых, наиболее опасных проходах катка, сохранив при этом его уплотняющую способность, в ВКГТУ разработана конструкция катка с вальцом переменной кривизны на базе серийно выпускаемого в РФ катка ДУ-47Б. В данном катке повышение эффективности уплотнения дорожных оснований и покрытий осуществляется за счет бесступенчатого изменения контактного давления вальца на уплотняемый материал путем принудительного изменения радиуса кривизны вальца в зоне контакта с уплотняемой поверхностью. Такой каток может заменить несколько катков с обычными вальцами.

На рис. 1 показана схема контакта с уплотняемой поверхностью вальца с изменяемой геометрией кривизны обечайки с указанием минимального и максимального радиусов кривизны в зоне пятна контакта с уплотняемой поверхностью [8, 9].

По схеме видно, что с увеличением пятна контакта вальца и уплотняемой поверхности уменьшается реакция опорной поверхности на валец и угол φ контакта уплотняемого материала и обечайки вальца катка. Два этих фактора указывают на то, что валец будет

меньше проваливаться в уплотняемый материал по глубине и, соответственно, меньше сдвигать материал в горизонтальной плоскости. Из-за более малого угла φ_1 контакта с уплотняемой поверхностью валец будет подминать под себя материал в зоне контакта с ним и уплотнять его, а не сдвигать материал перед собой, как в случае с большим углом контакта φ_0 . При уменьшении пластичности материала, например при остывании асфальтобетона, и увеличении его жесткости обечайку вальца можно изменить таким образом, чтобы уменьшилось пятно контакта, а давление на уплотняемый материал увеличилось.

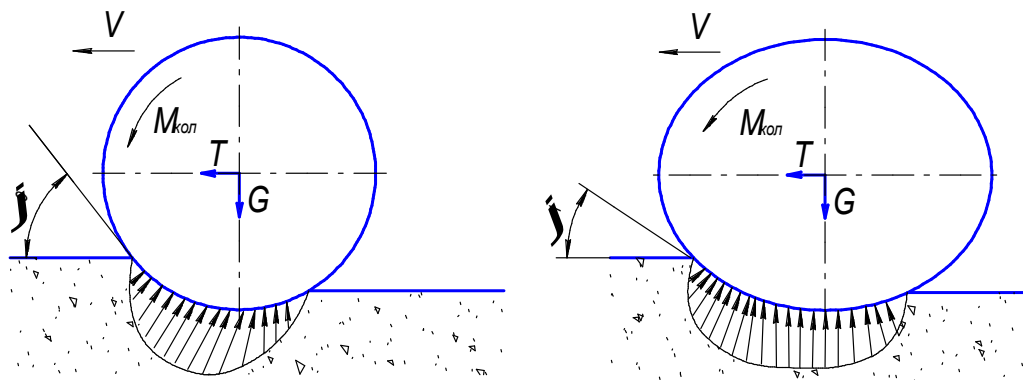


Рис. 1. Схема контакта с уплотняемой поверхностью вальца с изменяемым радиусом кривизны и действующих на него сил

В представленном материале устройство вальца с переменной кривизной обечайки не раскрывается до получения на него патента.

Применение катков с ведущим вальцом переменной кривизны (эллиптической формы) связано со стремлением уменьшить массу катка, повысить производительность, сократить номенклатуру и число катков, одновременно находящихся на месте работ.

Исследования доказали возможность осуществления принципиально нового конструктивного исполнения вальцов катка, обеспечивающих изменение давления в зоне контакта с уплотняемой поверхностью за счет варьирования радиуса кривизны вальцов. Использование такого катка позволяет снизить стоимость работ по уплотнению дорожных покрытий при сохранении качества уплотнения материала и вести укатку при максимально возможной для данного типа смеси температуре. Существует оптимальная температура смеси, при которой достигается максимальная плотность. Скорость остывания слоя асфальтобетона зависит не только от его толщины и температуры окружающего воздуха, но и от типа используемых средств уплотнения. Изменяемая геометрия уплотняющих вальцов катка, увеличивающая радиус вальца в зоне пятна контакта с уплотняемой поверхностью, дает возможность катку работать при высоких температурах уплотнения асфальтобетонной смеси без нарушения сплошности покрытия, т.е. в то время, когда смесь обладает максимальной уплотняемостью при минимальном силовом воздействии. Применение такого катка позволяет не только резко повысить производительность, снизить энерго- и металлоемкость процесса уплотнения, но и дает возможность произвести дальнейшее совершенствование процесса устройства асфальтобетонных покрытий дорожным комплексом. Экономический анализ показал, что при использовании дорожного катка с изменяемой геометрией вальцов, например для устройства покрытий из горячих асфаль-

тобетонных смесей, экономический эффект за расчетный период эксплуатации (5 лет) составит несколько десятков миллионов тенге. Сравнительный расчет сделан из известного предположения [10], что для производства работ используется базовый отряд техники в составе: дорожный самоходный каток массой 6-8 т с гладкими вальцами, три аналогичных катка массой 10-13 т и укладчик асфальтобетона. Производительность отряда используемой техники – 300 м²/ч (одинаковая для сравниваемых вариантов), время работы в году – 2000 ч. Применение проектируемого катка позволит заменить три тяжелых катка массой 10-13 т. По результатам исследований даны рекомендации по проектированию и изготовлению катков с изменяемой геометрией вальцов. Размеры нового катка не превысят габариты универсального серийного катка ДУ-47Б, при этом давление на уплотняемую поверхность будет изменяться в соотношении 1:6, благодаря изменению радиуса кривизны вальцов катка.

Создание и поддержание на протяжении всего процесса уплотнения условий, при которых происходит равномерное обжатие слоя по глубине, а напряженное состояние слоя способствует развитию в материале пластических сдвигов и сравнительно равномерному распределению их по деформируемому объему, является в настоящее время одним из главных направлений в интенсификации процесса укатки дорожно-строительных материалов.

Решение задачи по созданию перспективной конструкции дорожного катка с изменяемой геометрией вальцов и применение его при строительстве автомобильных дорог позволит сократить количество применяемых при уплотнении типоразмеров катков, повысить степень уплотнения дорожных материалов и уменьшить толщину слоев земляного полотна и дорожной одежды за счет изменения радиуса кривизны в зоне контакта уплотняющего вальца и дорожно-строительных материалов, а значит, и контактных давлений, регулирования площади контакта уплотняемой поверхности и вальца катка, а также за счет увеличения расчетного модуля упругости материалов. Контактные давления должны принимать такие рациональные значения, дальнейшее увеличение которых приводит к незначительному росту деформации уплотняемого слоя. При уменьшении максимальных контактных давлений под вальцом с большими значениями линейного давления и радиуса кривизны вальца, увеличивается длина пятна контакта вальца с уплотняемым слоем, что приводит к увеличению времени действия уплотняющей нагрузки, а следовательно, и к увеличению вертикальной деформации слоя или его плотности. При этом будет обеспечиваться высокое качество и стабильность данных слоев при более высокой производительности нового катка. Изменяя радиус кривизны вальца, можно увеличить максимальные контактные давления под вальцом с меньшими значениями линейного давления и радиуса вальца. При этом уменьшится длина пятна контакта вальца с уплотняемым слоем и время воздействия уплотняющей нагрузки. Однако при этом скорость нарастания уплотняющей нагрузки на уплотняемый слой будет выше, что также приведет к деформации слоя или его плотности.

Предлагаемый каток позволяет бесступенчато менять контактные давления вальца на материал, а при установке вибровозбудителя – динамически воздействовать на уплотняемый материал, тем самым создавая максимальную эффективность уплотнения, снижая структурное сопротивление материала деформированию и оптимально дозируя величину контактного давления, что позволит уплотнять дорожные материалы, достигая коэффициента уплотнения $K_y=1$ и более, при меньшем числе проходов по одному следу. В целом использование таких катков способно существенно повлиять на темпы строительства до-

рожных сооружений и расширение сети автомобильных дорог в нашей стране и за рубежом. Применение катка с изменяемой геометрией уплотняющих валцов позволит интенсифицировать процесс уплотнения дорожно-строительных материалов и улучшить условия работы машиниста.

Список литературы

1. Локшин Е.С. Впервые – комплекс уплотняющей техники // Строительные и дорожные машины. – 1996. – № 3. – С. 33.
2. Шестопапов К.К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование: Учеб. пособие. – М.: Мастерство, 2002. – 320 с.
3. Хархута Н.Я., Шестопапов А.А. Типы и параметры дорожных катков // Строительные и дорожные машины. – 1986. – № 1. – С. 14-16.
4. Хархута Н.Я. Машины для уплотнения грунтов. – Л.: Машиностроение, 1973. – 176 с.
5. Дорожные катки со специальными подшипниками на барабанах. *Compressori stradali con cuscineti orientabili a rulli* // *Constr. Strade cant*, 1994. // № 8.-С. 43.-Ut. (РЖ 60 СидМ. Отд. Вып. № 12. – 1995. – 12.60.80. – С. 10)
6. Головин А.А. Виброволновые дорожные катки: Конструкция. Теория и расчет. Опыт применения: Монография. – Тверь: ТГТУ, 2002. – 76 с.
7. Дудкин М.В. Обоснование параметров и разработка вибрационных катков с асимметричным планетарным вибровозбудителем: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Астана: Евразийский национальный университет им. Л. Гумилева, 2002. – 21 с.
8. Павлов В.В., Коняев А.Б. Каток с ведущим валцем переменной кривизны // Строительные и дорожные машины. – 1995. – № 4. – С. 23-25.
9. Машины для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов / Под. ред. С.А. Варганова – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
10. Калужский Я.А., Батраков О.Т. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд. – М.: Транспорт, 1971. – 157 с.

Получено 6.04.05

УДК 625.712

А.А. Макенов, С.Н. Сафонов
ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

**ОРГАНИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДСКИХ УЛИЦ**

Важное место в проблеме обеспечения безопасности и эффективности дорожного движения занимают вопросы организации движения на улично-дорожной сети городов в темное время суток. Это обуславливается тем обстоятельством, что продолжительность темного времени суток, особенно в осенне-зимний период, составляет значительную часть времени. Интенсивность движения транспортных средств и пешеходов в темное время суток снижается в 5-10 раз по сравнению со светлым периодом [1]. Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) в это время суток характеризуются более тяжкими последствиями. Например, по статистическим данным Управления дорожной полиции ГУВД ВКО 30-40 % ДТП совершается в темное время суток, а коэффициент тяжести последствий соответственно увеличивается на 75 %.

При этом следует отметить, что большое количество ДТП в темное время суток происходит при отсутствии или крайне низком качестве наружного освещения [2].

Уменьшение видимости в темное время суток может происходить по двум основным причинам: недостаточная во всех необходимых направлениях освещенность путей сообщения и предметов на них и ослепление водителя светом фар встречных транспортных средств. Эти причины, несмотря на их разнохарактерность, имеют тесную взаимосвязь и

во многом зависят от одних и тех же факторов. Кроме этого, в темное время суток действует еще ряд причин, которые увеличивают опасность дорожного движения. К ним относятся, прежде всего, неприспособленность человека к работе ночью и отдыху днем, неумение водителей транспортных средств перестроить свой режим и подготовить себя к работе ночью, отсутствие у многих из них опыта и профессиональных приемов управления транспортными средствами ночью.

Основной задачей повышения безопасности дорожного движения ночью по городским улицам и дорогам является создание таких условий видимости, при которых, во-первых, водитель транспортного средства может легко различать дорогу и её направление и, во-вторых, он может своевременно обнаружить необходимую информацию о появлении в поле зрения препятствий.

Улучшение качественных характеристик наружного освещения городских улиц и дорог и доведение его до нормативных требований позволяет снизить количество ДТП в темное время суток в среднем на 30 %, количество наездов транспортных средств на пешеходов – на 40 %, количество ДТП со смертельным исходом – на 55 % [2,3].

Для поддержания требуемого уровня искусственного освещения городских улиц и дорог необходимо периодически и оперативно проводить контроль его характеристик. На кафедре организации и безопасности движения Московского автомобильно-дорожного института (технического университета) была изготовлена аппаратура и разработана методика измерения освещенности дорожного покрытия с использованием ходовой лаборатории [4]. В качестве датчика освещенности использован фотоэлемент, который имеет малые габариты и вес. Кривая спектральной чувствительности сернисто-кадмиевого элемента близка к чувствительности человеческого глаза. Предельно допустимое напряжение – 50 В, кратность изменения сопротивления $R_t / R_c \geq 200$, линейность характеристики сопротивления находится в допустимых пределах. Интервал рабочих температур – от -60 °С до +85 °С.

Нами на кафедре Организации дорожного движения и автомобильных перевозок Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева была разработана более совершенная конструкция портативного прибора для измерения освещенности дорожного покрытия [5]. Фотоэлемент преобразует величину освещенности в электрический сигнал, который высвечивается на цифровом табло прибора. Использование мультиметра значительно упрощает его электрическую схему и стоимость изготовления (рис. 1).

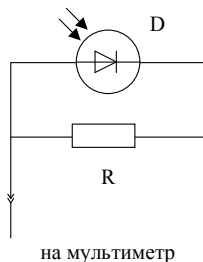


Рис. 1. Электрическая схема прибора с использованием мультиметра

При проведении исследований фотоэлемент устанавливается на крыше транспортного средства (рис. 2). Отметки пути позволяют определить расстояние между опорами наружного освещения.

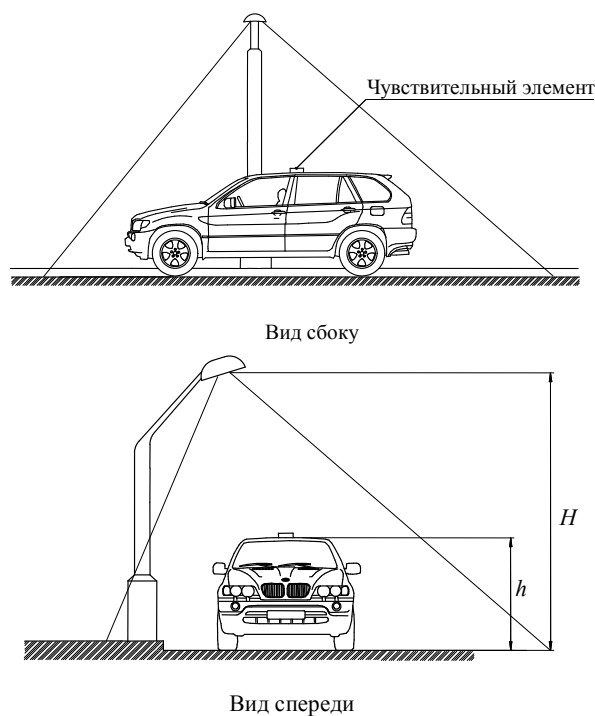


Рис. 2. Методика проведения замеров

Перед началом измерений необходимо провести тарировку записи с помощью люксметра, который фиксирует показания освещенности на поверхности фотоэлемента. Тарировку проводят в ночное время непосредственно на исследуемом участке улицы (дороги) под источниками искусственного освещения. Для этого параллельно на ровную поверхность устанавливают разработанное устройство и люксметр. Снятые с приборов числовые показатели освещенности заносятся в таблицу замеров освещенности.

Результаты замеров освещенности на участке улицы Ушанова

№ опоры освещения	Горизонтальная освещенность покрытия, лк							
	Контрольные точки в прямом направлении				Контрольные точки в обратном направлении			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	30/0,60	35/0,70	30/0,60	33/0,66	38/0,78	42/0,84	40/0,80	35/0,70
2	38/0,75	36/0,72	45/0,90	40/0,70	36/0,72	39/0,78	34/0,68	40/0,80
3	29/0,58	32/0,64	35/0,70	45/0,90	30/0,60	28/0,56	35/0,70	32/0,64
4	33/0,66	30/0,60	28/0,56	32/0,64	33/0,66	40/0,80	35/0,70	38/0,76
5	28/0,56	33/0,66	30/0,60	35/0,70	35/0,70	42/0,84	40/0,80	38/0,76
6	40/0,80	38/0,76	35/0,70	42/0,84	38/0,76	40/0,80	41/0,82	42/0,84

Примечание: в числителе - данные освещенности, полученные с помощью люксметра;
в знаменателе - показания прибора

После чего строится тарировочный график разработанного прибора, который пред-

ставлен на рис.3.

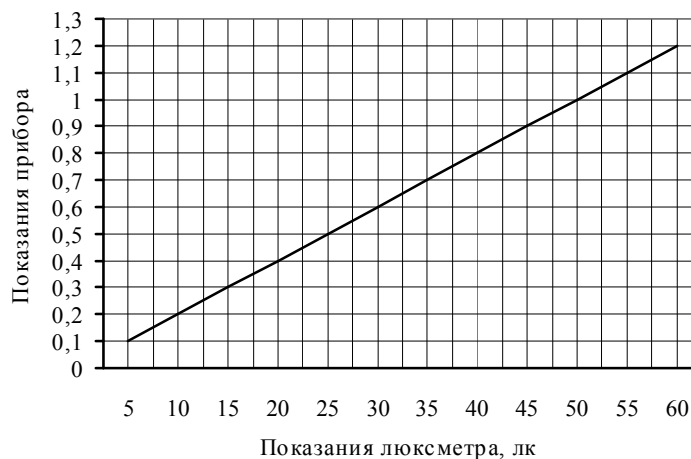


Рис. 3. Тарировочный график

Датчик установлен на крыше транспортного средства, поэтому, чтобы получить значение освещенности на поверхности дороги E_g , используют формулу:

$$E_g = E_{кр} \cdot (H - h)^2 / H^2, \quad (1)$$

где $E_{кр}$ – освещенность, измеренная на уровне крыши транспортного средства, лк;

H – высота подвеса светильника, м;

h – высота установки фотоэлемента, м.

Измеренное значение освещенности E_g пересчитывают в яркость $L_{ср}$ по следующей формуле:

$$L_{ср} = E_{кр} \cdot (\eta_L / \eta_E \cdot \pi), \quad (2)$$

где η_L – коэффициент использования светильника по яркости;

η_E – коэффициент использования светильника по освещенности.

Обследование условий стационарного освещения на ряде улиц города Усть-Каменогорска показало, что при достаточной достоверности производительность труда при проведении измерений значительно повышается по сравнению с существующими методами измерения освещенности и яркости. При этом обеспечивается более высокая безопасность измерений и отпадает необходимость в ограничении движения во время проведения обследований. Запись значений освещенности позволяет автоматизировать процесс обработки полученных результатов и еще в ходе обследования объективно выявить участки городских улиц и дорог с недостаточной освещенностью. Проведенное сравнение уровня освещенности по стандартной методике и с использованием предлагаемой аппаратуры показало, что расхождение в целом не превышает 10 % [4]. При этом для повышения точности измерений скорость движения транспортного средства не должна превышать 40 км/ч. Кроме того, транспортное средство должно двигаться по середине освещаемой городской улицы и дорог.

В ходе обследования участков улиц и дорог города нами было выявлено, что на пересечении при выезде с КШТ на Самарское шоссе отсутствует наружное освещение в темное время суток. Вместе с тем, на данном перекрестке отмечаются высокая аварийность и соответственно коэффициент тяжести последствий, равный 0,16. Исходя из этого, нами была предложена схема установки опор искусственного освещения (рис.4).

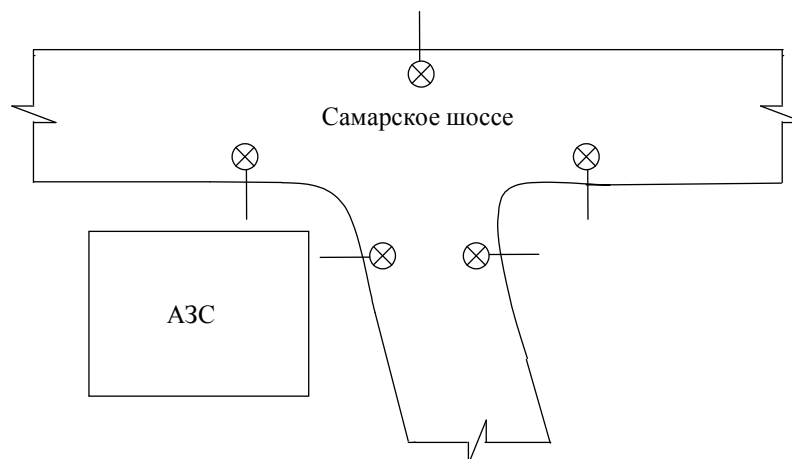


Рис. 4. Предлагаемая схема установки опор освещения

Более перспективным является подключение выхода с данного прибора на вход компьютера. Полученные данные по освещенности улиц и дорог могут быть использованы в рамках автоматизированной системы наружного освещения улично-дорожной сети города. При этом в ее составе может быть реализована электронная карта города, на которой должны быть отображены все действующие источники света. При этом на каждый источник света составляется паспорт объекта, включающий в себя следующие данные: высота подвеса светильника, расстояние от обочины, типы светильников и источника света, конструкция опор, график проведения профилактических мероприятий и т.д. Данные об освещенности, которые получены с помощью портативного прибора, также заносятся в паспорт источника света. Все это позволяет эффективно их обслуживать и принимать необходимые оперативные мероприятия по устранению неисправностей источников света на данной улице (дороге) города. В этих целях нами предлагается осуществлять постоянный оперативный контроль уровня освещенности дорожного покрытия с помощью разработанного прибора.

Анализ отечественного и зарубежного опыта обеспечения безопасности дорожного движения с использованием наружного освещения показывает, что рациональное устройство наружного освещения и оптимизация его работы на базе АСУ позволяет повысить пропускную способность улично-дорожной сети городов и снизить количество ДТП в темное время суток.

Список литературы

1. Клиновштейн Г.И., Афанасьев М.В. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. - М.: Транспорт, 2001. - 247 с.
2. Рейцен Е.А., Казимирова И.И. Обеспечение безопасности дорожного движения при искусственном освещении // Проблемы больших городов: Обзор. информация / Вып. 9. - М.: МГЦНТИ, 1989. - 36 с.
3. МСН 1.07.97 Естественное и искусственное освещение. - М., 1995. - 98 с.
4. Взыбалкин В.Н., Косарев В.А. Методика и аппаратура контроля искусственного освещения дорог // Проблемы качества работы и эффективности автомобильного транспорта: Сб. науч. тр. / МАДИ. - М., 1985. - С. 112-115.
5. Сафонов С.Н., Макенов А.А. Прибор для измерения освещенности дорожного покрытия // Современная техника и технологии: Тез. докл. XI Междунар. науч.-практ. конф. / ТПУ. - Томск, 2005. - С. 83-84.
6. Сафонов С.Н., Макенов А.А. Повышение эффективности наружного освещения городских улиц и дорог // Студент и научно-технический прогресс: Тез. докл. межвуз. регион. студ. науч.-теор. конф., 13-14 мая 2004 г. / КарГТУ. - Караганда, 2004. - С. 137-138.

Получено 11.04.05

УДК 624.133.22:666.97.033.16

М.А. Сакимов, М.В. Дудкин

ВКГТУ, г. Усть-Каменогорск

П.С. Кузнецов

АГТУ, г. Барнаул

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КУЛАЧКОВЫХ
МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ АСИММЕТРИЧНОГО ПЛАНЕТАРНОГО ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ
С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ БЕГОВОЙ ДОРОЖКОЙ**

Использование на дорожных и строительных машинах вибровозбудителей планетарного типа с некруглой беговой дорожкой обеспечивает действие на обрабатываемый материал значительной вынуждающей силы и одновременно повышает надежность вибровозбудителей вследствие действия вынуждающей силы инерционного бегунка непосредственно на беговую дорожку корпуса, минуя опоры приводного вала вибровозбудителя [1].

Расчет динамики такого вибровозбудителя требует четкого определения всех его кинематических параметров в функции угла φ поворота водила.

Рассмотрим рабочий процесс вибровозбудителя с эллиптической беговой дорожкой (водило планетарного вибровозбудителя расположено в центре эллипса), у которого переменная угловая скорость инерционного бегунка относительно центра эллипса (беговой дорожки) обеспечивается различным значением полуосей обкатываемого эллипса относительно его центра, что приводит к поличастотному воздействию вынуждающей силы на обрабатываемый материал и позволяет наиболее эффективно использовать её направленное значение.

На рис. 1 показана расчетная схема планетарного вибровозбудителя с эллиптической беговой дорожкой, обкатываемой инерционным бегунком 3, сложное движение которому сообщается посредством вращения водила-кулисы 1 с постоянной угловой скоростью ω и относительного движения камня 2 вдоль кулисы с переменной скоростью $V_{отн}$, который находится на одной оси (С) с инерционным бегунком 3, вращающимся относительно той же оси и образующим с беговой дорожкой высшую кинематическую пару в точке К.

Поскольку беговая дорожка эллиптическая, т.е. криволинейная, и присутствует высшая кинематическая пара К, то представленную механическую систему можно рассмотреть как кулачковый механизм.

Отличительными чертами обозначенного выше кулачкового механизма будут являться:

- в качестве движения толкателя (поступательного или возвратно-качательного в классическом варианте) будет являться сложное движение центра масс С инерционного бегунка;
- кулачок представлен в виде эллиптической дорожки и, в отличие от классического, неподвижен.

При проектировочных расчетах кулачковых механизмов обычно руководствуются одним из основных показателей работоспособности – предельно допустимым углом давления, который не должен превышать некоторого допустимого максимального значения

δ^{\max} , чтобы обеспечивался режим работы без ударов:

$$\delta^{\max} \leq [\delta], \quad (1)$$

где $[\delta]$ – предельно допустимое значение угла давления, град.

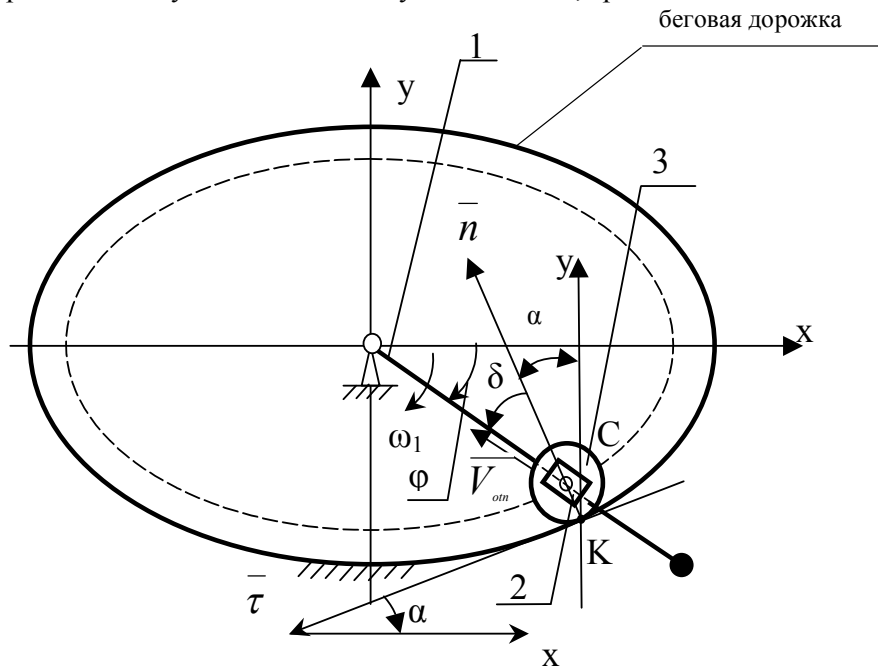


Рис. 1. Расчетная схема планетарного вибровозбудителя с эллиптической беговой дорожкой (ось водила в центре эллипса)

Если придерживаться традиционной теории кулачковых механизмов, то это угол, образованный нормальным вектором к криволинейной поверхности кулачка в точке контакта и вектором скорости толкателя (в нашем случае $V_{отн}$) [2]. То есть, в нашем случае, это угол между нормалью (нормальным вектором \bar{n}) и относительной скоростью камня 2 вдоль кулисы 1: угол δ (рис. 1).

Формула для определения зависимости угла давления δ от обобщенной координаты – угла поворота водила φ – может быть получена из общих свойств треугольников. Но при этом зададимся правилом знаков: если кратчайший угол δ образован путем вращения вектора \bar{n} к осевой линии водила ОС против хода часовой стрелки, то угол δ считается положительным, в противном случае – отрицательным.

$$|\delta| \cong \begin{cases} 90 - \varphi - \alpha, & \text{при } \dots \delta > 0, \\ \alpha + \varphi - 90, & \text{при } \dots \delta < 0, \end{cases} \quad (2)$$

где α – угол контакта, град.

Угол α – это угол, образованный положительным направлением оси ординат ОУ и вектором \bar{n} или угол между касательной к траектории точки К (эллипс) и осью абсцисс.

Определить характер изменения углов α и δ , в зависимости от угла поворота φ , можно представив инерционный бегунок в виде материальной точки, движущейся по эллипти-

ческой траектории (рис. 2). Однозначно значения этих углов можно определить только в четырех точках, а проследить поведение этих функций только в каждой четверти декартовой системы координат, результаты для наглядности сведены в таблице.

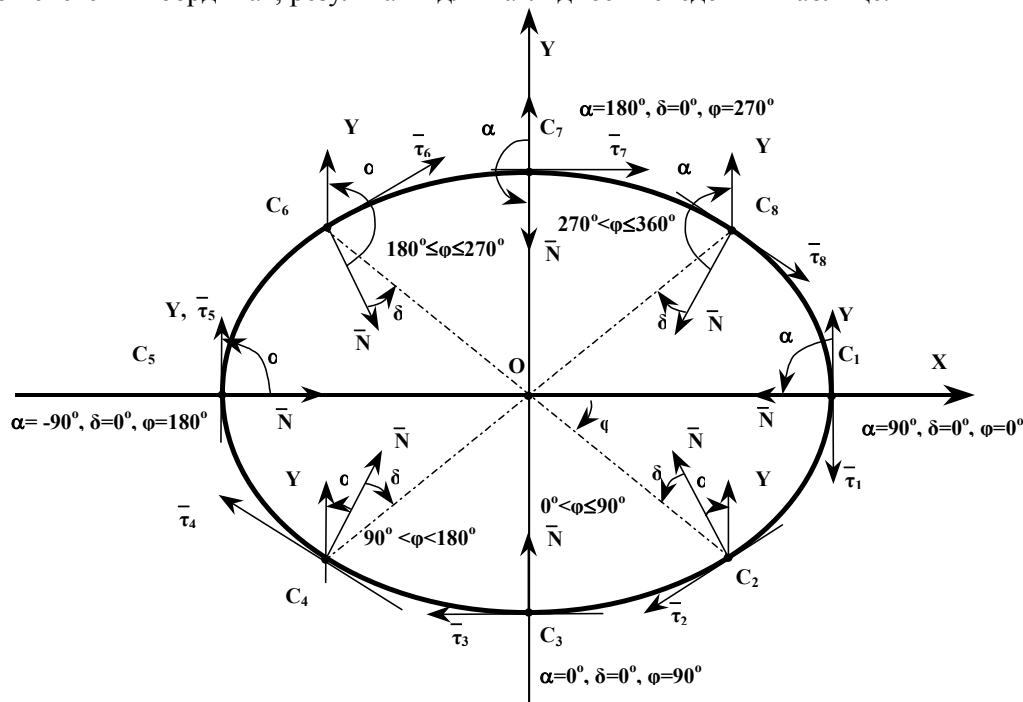


Рис. 2. Изменение угла контакта α и угла давления δ в зависимости от угла поворота φ водила инерционного бегунка, движущегося по эллиптической траектории

Значение углов α и δ в зависимости от угла поворота водила φ

φ (град)	0^0	0^0-90^0	90^0	90^0-180^0	180^0	180^0-270^0	270^0	270^0-360^0	360^0
точка на траектории	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_1
α^* (град)	90^0	убывает	0^0	убывает	-90^0	убывает	180^0	убывает	90^0
	-270^0	возрастает	-360^0	разрыв	270^0	разрыв	-180^0	возрастает	-270^0
δ (град)	0^0	+	0^0	-	0^0	+	0^0	-	0^0

Примечание: –углы измерены двояко: по ходу часовой стрелки и против.

Если предположить, что:

$$\begin{cases} \cos(-90) = \cos(270), \\ \sin(-90) = \sin(270), \end{cases} \quad (3)$$

то можно с достаточной долей вероятности построить графики $\alpha(\varphi)$ и $\delta(\varphi)$.

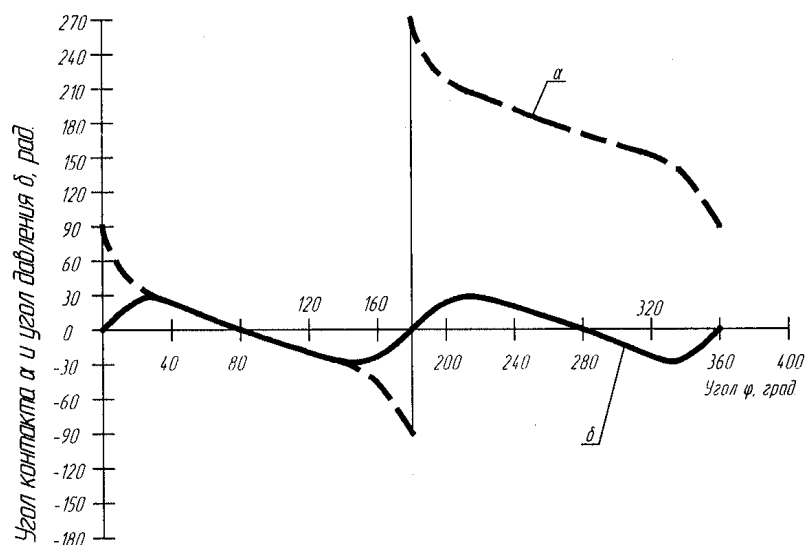


Рис. 3. Зависимость угла контакта α и угла давления δ от величины угла поворота водила φ

Точка разрыва графика (φ) при $\varphi=180^\circ$ вполне закономерна.

Так как угол α – угол касательной к эллиптической траектории, то определить его можно как:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{dy}{dx}. \quad (4)$$

При этом мы знаем, что производная dy/dx для эллиптической траектории не существует в точках С1 и С5.

Получение аналитического выражения для определения угла давления, кроме упомянутого ранее, затруднено еще и тем, что функция тангенс имеет, в свою очередь, точки разрыва в точках С3 и С7, а функция арктангенса лежит в пределах от -90° до 90° , что идет в разрез с таблицей.

Ввиду всех упомянутых причин предлагается представить график $\alpha(\varphi)$ в виде семейства кривых, функции которых различны и справедливы только внутри определенного диапазона изменения угла φ .

Путем последовательного подбора простейших функций была получена следующая зависимость:

$$\alpha(\varphi) = \begin{cases} a \sin[S(\varphi)] \dots \text{при} \dots 0 \leq \varphi \leq 90^\circ, \\ a \sin[-S(\varphi)] \dots \text{при} \dots 90^\circ < \varphi \leq 180^\circ, \\ [a \sin(-S(\varphi) - 90^\circ)] \dots \text{при} \dots 180^\circ < \varphi \leq 270^\circ, \\ [a \sin(S(\varphi) - 90^\circ)] \dots \text{при} \dots 270^\circ < \varphi \leq 360^\circ, \end{cases} \quad (5)$$

где $S(\varphi)$ – синус угла контакта

$$S(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2(\alpha)}}} \quad (6)$$

Полученная зависимость достаточна для численных расчетов и построения качественных графиков $\alpha(\varphi)$ и $\delta(\varphi)$. Но при более детальном анализе работы механизма необходимо дифференцировать, интегрировать и совершать иные действия над этими функциями, а полученная зависимость (5) не подходит для данного рода манипуляций. Поэтому получение аналитической зависимости будет являться предметом дальнейших исследований.

Предложенная методика позволяет на ранних этапах проектирования, еще не достигнув стадии динамического анализа, численными методами проанализировать работоспособность вибровозбудителя и оптимизировать его основные геометрические параметры, тем самым закладывая рациональные параметры механизма на стадии его проектирования.

Список литературы

1. Ермилов А.Б. Анализ рабочего процесса асимметричного планетарного вибровозбудителя, оборудованного поводковым водилом //Повышение эффективности рабочих органов и агрегатов дорожно-строительных машин: Сб. науч. тр./МАДИ.- М., 1984. - С. 76-85.
2. Ротбарт Г.А. Кулачковые механизмы. -Л.: Судпромгиз, 1960.

Получено 18.04.05

