



УДК 625.08 (075.8)+69.002.5

Г.А. Гурьянов

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЦЕНТРОБЕЖНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ В ГИДРОСИСТЕМАХ ЭКСКАВАТОРОВ**

В результате проведенных ранее исследований [1], [2] установлена необходимость более качественной очистки рабочей жидкости гидросистем строительных и дорожных машин от механических загрязнений.

В настоящее время очистка рабочей жидкости гидропривода СДМ в процессе эксплуатации производится фильтрами. Недостатками этих очистителей являются: сравнительно низкая тонкость очистки (20 - 40 мкм), быстрая засоряемость и замена фильтрующих элементов новыми через короткий промежуток времени, что увеличивает себестоимость эксплуатации каждой машины на 15 – 20 тыс. тенге в год. С этих позиций применение центробежного очистителя рабочей жидкости является более перспективным.

Основной задачей обоснования является определение величины экономической эффективности от внедрения центробежного очистителя рабочей жидкости в гидросистему экскаваторов вместо серийных фильтров.

Обоснование выполнено на основе методики [3], [4], включающей следующую схему расчета:

- выявление прогрессивности и области применения внедряемого очистителя;
- выбор базисного варианта очистительных устройств, устанавливаемых в гидросистемах строительных и дорожных машин;
- определение режима работы и годовой производительности очистителя;
- расчет влияния отдельных технико-экономических факторов и определение экономического эффекта.

В качестве базисного варианта для определения сравнительной эффективности принят фильтр экскаватора ЭО-4121 с тонкостью фильтрации 40 мкм. Режим работы фильтра соответствует нормальному, тонкость очистки соответствует нормативной. Время работы фильтроэлементов до замены: по инструкции – 960 часов, фактическое – 200...250 часов.

От внедрения центробежного очистителя может быть получен экономический эффект за счет повышения долговечности гидравлических агрегатов (гидронасосов, гидромоторов, гидрораспределителей, гидроцилиндров и др.) и, соответственно, за счет увеличения годовой выработки машин; за счет уменьшения расхода рабочей жидкости из-за увеличения срока ее службы и сокращения числа замен отработавшей свой срок жидкости; за счет устранения необходимости замены фильтроэлементов.

Годовой экономический эффект определяется по формуле:

$$C = C_D + C_B + C_P + C_3 - C_K, \quad (1)$$

где C_D – экономия при эксплуатации за счет увеличения долговечности гидроагрегатов,

тенге;

C_B – экономия за счет увеличения годовой выработки и сокращения числа машин, тенге;

C_P – экономия за счет уменьшения расхода рабочей жидкости, тенге;

C_3 – экономия за счет отсутствия необходимости замены фильтроэлементов, тенге;

C_K – приведенные затраты, связанные с изготовлением и установкой силового центробежного очистителя, тенге.

При улучшении качества очистки рабочей жидкости в процессе эксплуатации возрастает срок службы гидроагрегатов гидропривода и уменьшается общее число ремонтов в год. Тогда годовая экономия от увеличения долговечности гидропривода определится как разность затрат на ремонт гидроагрегатов машины, работающей с центробежным очистителем в гидросистеме и работающей с фильтрами, т.е.

$$C_D = C_B - C_\Phi, \quad (2)$$

где C_B – затраты на ремонт агрегатов гидропривода машины, работающей с фильтрами, тенге/год;

C_Φ – то же, работающей с центробежным очистителем, тенге/год.

Затраты на ремонт агрегатов по каждому варианту определяются как произведение стоимости одного ремонта на годовое количество ремонтов. При этом принимается, что стоимость одного ремонта не зависит от качества очистки рабочей жидкости. Тогда

$$C_B = C_1 \cdot n_B; \quad C_\Phi = C_1 \cdot n_\Phi, \quad (3)$$

где C_1 – себестоимость одного ремонта, тенге;

n_B – годовое количество ремонтов агрегатов гидропривода, работающих с фильтрами в гидросистеме;

n_Φ – то же, работающих с центробежным очистителем.

Количество ремонтов в год определяется по формуле:

$$n_B = \frac{T_B}{P_B}; \quad n_\Phi = \frac{T_\Phi}{P_\Phi}, \quad (4)$$

где T_B и T_Φ – годовая выработка машины, соответственно с фильтрами и с центробежным очистителем в гидросистеме, мото-ч;

P_B и P_Φ – межремонтный период работы машин, соответственно с фильтрами и с центробежным очистителем в гидросистеме, мото-ч.

При увеличении долговечности работы агрегатов за счет качественной очистки в Д раз межремонтный период будет равен

$$P_\Phi = D \cdot P_B. \quad (5)$$

Годовая выработка машин с центробежным очистителем T_Φ (мото-ч) также увеличится, например за счет уменьшения простоя в ремонте, на величину T_D .

$$T_\Phi = T_B + T_D, \quad (6)$$

где T_D – дополнительная выработка машины, мото-ч;

$$T_D = B_q \cdot M_p \cdot (n_B - n_\Phi), \quad (7)$$

где B_q – часовая выработка машины, ч;

M_p – время простоя машины в ремонте, ч.

Подставляя значения n_B и n_Φ в выражение (7), после некоторых преобразований находим

$$T_D = \frac{(D-1) \cdot T_B \cdot B_q \cdot M_P}{D \cdot \Pi_B + B_q \cdot M_P}. \quad (8)$$

Из выражений (2) - (8) экономия при эксплуатации машины за счет увеличения долговечности гидроагрегатов будет равна:

$$C_D = C_1 \cdot \frac{(D-1) \cdot T_B}{D \cdot \Pi_B + B_q \cdot M_P}. \quad (9)$$

Экономия от увеличения годовой выработки вследствие уменьшения времени простоев машин в ремонтах может быть рассчитана по формуле:

$$C_B = A \cdot T_D, \quad (10)$$

где A – прибыль на единицу выполненной работы, тенге.

Подставив в формулу (10) значение T_D из формулы (8), получим:

$$C_B = A \cdot \frac{(D-1) \cdot T_B \cdot B_q \cdot M_P}{D \cdot \Pi_B + B_q \cdot M_P}. \quad (11)$$

Экономия от уменьшения расхода рабочей жидкости при заменах будет равна:

$$C_P = \kappa_1 \cdot \Pi \cdot Q_6, \quad (12)$$

где κ_1 – коэффициент, учитывающий уменьшение числа замен рабочей жидкости в год;

Π – цена одного литра рабочей жидкости, тенге;

Q_6 – емкость бака рабочей жидкости машины, л.

Экономия от отсутствия необходимости заменять фильтроэлементы будет:

$$C_3 = \kappa_2 \cdot \Pi_\phi \cdot m - 3\Pi_{TO}, \quad (13)$$

где κ_2 – коэффициент, учитывающий число необходимых замен фильтров в год;

Π_ϕ – цена одного фильтроэлемента, тенге;

m – число фильтроэлементов, заменяемых за один раз;

$3\Pi_{TO}$ – затраты на заработную плату слесаря, проводящего техническое обслуживание центробежного очистителя 1 раз в год.

Годовые затраты, связанные с изготовлением и установкой силового центробежного очистителя равны:

$$C_K = \frac{\Pi_O}{T_K}, \quad (14)$$

где Π_O – цена очистителя, тенге;

T_K – срок службы очистителя, год.

Тогда годовая экономия на одну машину от внедрения центробежного очистителя будет равна:

$$C = \frac{(D-1) \cdot T_B}{D \cdot \Pi_B + B_q \cdot M_P} \cdot (C_1 + A \cdot B_q \cdot M_P) + \kappa_1 \cdot \Pi \cdot Q_6 + (\kappa_2 \cdot \Pi_\phi \cdot m - 3\Pi_{TO}) - \frac{\Pi_O}{T_K}. \quad (15)$$

Величина экономии за год от внедрения очистителей на весь парк машин C_{II} определяется как произведение количества машин на годовую экономию от каждой машины

$$C_{II} = N \cdot C, \quad (16)$$

где N – количество машин.

Срок окупаемости затрат на внедрение центробежных очистителей T_O (год) находится

как отношение суммы затрат на внедрение очистителей к величине экономии от их внедрения.

Для парка машин:

$$T_o = \frac{C_o \cdot N}{C_{\Pi}}. \quad (17)$$

Для одной машины:

$$T_{o1} = \frac{C_o}{C}. \quad (18)$$

Определим значения коэффициентов k_1 и k_2 .

Согласно инструкции по эксплуатации экскаватора ЭО-4121 рабочую жидкость необходимо заменять через 3000 часов работы машины. Экскаватор, с учетом простоев и перебазировок, работает 2000 часов в год. Тогда рабочая жидкость будет заменяться

$$\xi = \frac{T_p}{T_z} = \frac{2000}{3000} = 0,67 \text{ раз в год}, \quad (19)$$

где T_p – время работы экскаватора в год, ч;

T_z – периодичность замены рабочей жидкости, ч.

Срок службы рабочей жидкости за счет применения центробежного очистителя может быть увеличен в 3 раза. Тогда коэффициент, учитывающий уменьшение числа замен рабочей жидкости в год, определим по формуле

$$k_1 = (i - 1) \cdot \xi = (3 - 1) \cdot 0,67 = 1,34, \quad (20)$$

где i – коэффициент, показывающий во сколько раз увеличился срок службы рабочей жидкости до замены.

Согласно инструкции по эксплуатации экскаватора фильтроэлементы необходимо заменять через 960 часов работы машины при проведении ТО-3. Фактическое время работы фильтроэлементов до замены составляет 200-250 часов.

Принимаем фактическую замену фильтроэлементов через 240 часов, при ТО-2. Тогда число замен фильтров в год будет:

$$\lambda = \frac{T_p}{T_{\text{зф}}} = \frac{2000}{240} = 8,3 \quad (21)$$

Принимаем число замен в год $\lambda = 8$.

Поскольку применение центрифуги исключает замены фильтров, то значит в год исключаются 8 замен. Тогда $k_2 = 8$.

В качестве примера произведем расчет годового экономического эффекта от внедрения силового центробежного очистителя на гидравлическом экскаваторе ЭО-4121.

Для расчета принимаем следующие значения:

Стоимость одного ремонта агрегатов гидропривода, C_1	20 000 тенге
Средний межремонтный период, Π_B	1000 мото-ч
Годовая выработка машины, T_B	2000 мото-ч
Время простоя машины в ремонте, M_p	150 ч
Прибыль на единицу выполненной работы, A	50 тенге/мото-ч
Коэффициент увеличения долговечности, D	3,5
Стоимость очистителя, C_o	53 566 тенге

Срок службы очистителя, T_K	10 лет
Часовая выработка машины, B_q	1 мото-ч
Стоимость одного литра масла ВМГЗ, C	80 тенге
Емкость бака рабочей жидкости, Q_6	350 л
Коэффициент, учитывающий уменьшение числа замен рабочей жидкости в год, κ_1	1,34
Стоимость одного фильтроэлемента, C_ϕ	930 тенге
Число заменяемых фильтроэлементов, m	3
Коэффициент, учитывающий число замен фильтроэлементов, κ_2	8
Зарплата слесаря, за ТО очистителя, $ЗП_{ТО}$	50 тенге

Общую годовую экономию (на одну машину) от внедрения силового центробежного очистителя в гидросистему экскаваторов ЭО-4121 получим, подставив численные значения в формулу (15)

$$C = \frac{(3,5 - 1) \cdot 2000}{3,5 \cdot 1000 + 1 \cdot 150} \cdot (20000 + 50 \cdot 1 \cdot 150) + \\ + 1,34 \cdot 80 \cdot 350 + (8 \cdot 9030 \cdot 3 - 50) - \frac{53566}{10} = 92208 \text{ тенге/год}$$

Срок окупаемости затрат на внедрение центробежного очистителя рассчитаем по формуле (18)

$$T_{o1} = \frac{53566}{92208} = 0,58 \text{ года ,}$$

что менее года (≈ 7 месяцев).

Таким образом, годовой экономический эффект от внедрения силового центробежного очистителя в гидросистему экскаваторов ЭО-4121 составляет 92208 тенге в год на одну машину, поэтому экономическая выгода от замены серийных фильтров на центробежные очистители в гидросистемах экскаваторов очевидна.

Список литературы

1. Гурьянов Г.А. Очистка рабочей жидкости в гидросистемах мобильных строительных и дорожных машин / Г.А. Гурьянов, А.К. Гельцер, М.В. Дудкин // Новости науки Казахстана: Науч.-техн. сб.. – Вып. 2 (89). – Алматы, 2006. – С. 131-136.
2. Гурьянов Г.А. Состояние процесса эксплуатации гидравлических систем строительных машин и результаты производственных испытаний центробежного очистителя // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. – 2005. – № 1 (27). – Усть-Каменогорск, 2005. – С. 30-36.
3. Васильев И.А. Вопросы технико-экономической оценки строительных и дорожных машин / И.А. Васильев, М.Д. Гилула, Е.М. Кудрявцев. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1971. – 53 с.
4. Афлятонов А.З. Расчет экономической эффективности внедрения фильтрующих устройств рабочей жидкости гидропривода строительных машин // Исследование рабочего процесса строительных машин. – Вып. 53. – Л., 1968. – С. 39-41.

Получено 4.02.09

УДК 625.7.084

М.В. Дудкин, В.Н. Сидоренко, М.А. Сакимов
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ЗАКЛИНИВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ УПОРОВ И ТОРЦЕВЫХ ДИСКОВ
ВАЛЬЦА ДОРОЖНОГО КАТКА С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ ОБЕЧАЙКИ**

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.

Существующими катками, даже при работе на повышенных скоростях, затрачивается довольно значительное время на уплотнение покрытия, так как при изменении плотности материала в процессе уплотнения приходится использовать дорожные катки различных типоразмеров. Для решения этой проблемы был разработан дорожный каток с изменяемой геометрией (радиусом) вальца, который может регулировать силовое давление на уплотняемый материал в процессе его укатки в зависимости от текущей плотности уплотняемого дорожно-строительного материала [1].

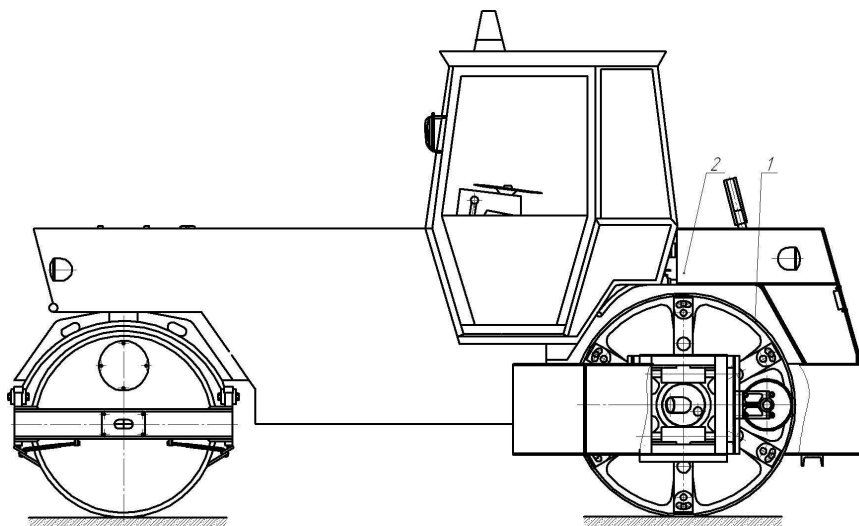


Рисунок 1 – Схема конструкции дорожного катка, оснащенного гибким вальцом с изменяемой геометрией (радиусом) обечайки

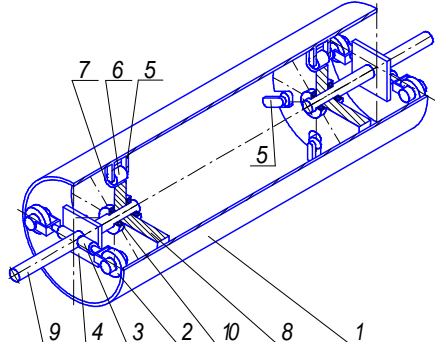


Рисунок 2 – Устройство вальца дорожного катка с гибкой обечайкой по предпатенту РК 18131: 1 – обечайка из упругого материала; 2 – опорные ролики; 3 – гидроцилиндры; 4 – рама катка; 5 – кронштейны; 6 – цилиндрические упоры; 7 – пазы; 8 – торцевые диски; 9 – центральная ось вальца; 10 – подшипниковый узел

На рис. 1 схематично изображен дорожный каток, содержащий валец с обечайкой из упругого материала (рис. 2) с расположенными в её полости и контактирующими с внутренней поверхностью обечайки опорными роликами, перемещаемыми в горизонтальной плоскости гидроцилиндрами, а по торцам внутренней поверхности обечайки на кронштейнах расположены цилиндрические упоры, которые входят в радиальные прорези торцевых дисков.

Оболочка вальца (обечайка) при нагружении опорными роликами сжимается в вертикальной плоскости, при этом пятно контакта с опорной поверхностью увеличивается, а давление на покрытие уменьшается (рис. 3).

Вальцом с большим радиусом кривизны можно уплотнять пластичные материалы, такие, как горячий асфальтобетон, без сдвига его в горизонтальной плоскости, так как уплотняющее усилие невелико и не выдавливает горячую смесь из-под вальца [2]. По мере остывания асфальтобетона и увеличения

его сопротивления уплотнению, его уплотняют вальцом с меньшим радиусом кривизны, который, соответственно, создает повышенное давление на опорную поверхность.

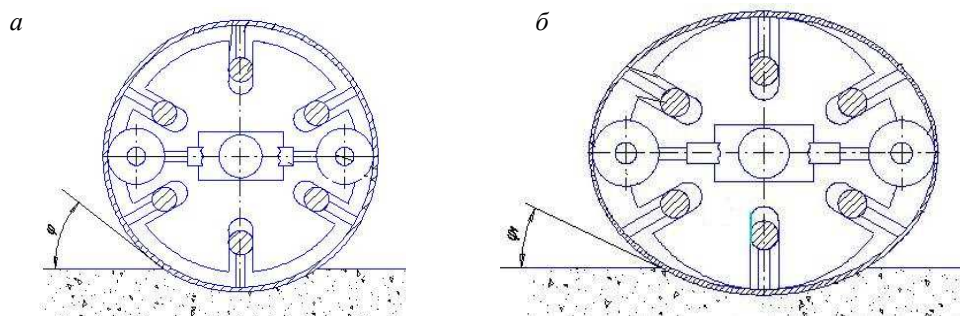


Рисунок 3 – Схема изменения кривизны вальца: а) минимальный радиус вальца; б) максимальный радиус вальца

Бесступенчатое изменение радиуса кривизны вальца одного дорожного катка, а следовательно, и контактных давлений на уплотняемую поверхность, позволяет заменить несколько катков различных типоразмеров с обычными вальцами.

Так как наибольшая эффективность процесса уплотнения грунтов и асфальтобетонных смесей достигается тогда, когда давления под рабочими органами катков поддерживаются близкими к пределу прочности уплотняемого материала, валец с бесступенчатым изменением давлений на уплотняемую поверхность ведет уплотнение дорожно-

строительных материалов усилиями, близкими к пределу прочности уплотняемого материала, не превышая этого предела.

Следовательно, применение катков с ведущим вальцом переменной кривизны (эллиптической формы) позволяет уменьшить массу катка, повысить производительность, сократить номенклатуру и число катков, одновременно находящихся на месте работ.

Валец дорожного катка работает следующим образом.

При движении катка обечайка 1 (рис. 2) перекатывается по поверхности уплотняемого материала. Упираясь во внутреннюю часть обечайки 1 опорные ролики 2, установленные по торцам обечайки 1, действием гидроцилиндров 3 деформируют ее, и она принимает форму эллипса, при этом радиус кривизны вальца в зоне контакта с уплотняемой поверхностью принудительно изменяется. При максимальном выдвижении гидроцилиндров 3 радиус кривизны вальца в зоне контакта с уплотняемой поверхностью имеет максимальное значение, а следовательно, давление вальца на уплотняемый материал минимально, что необходимо при первоначальном проходе катка. После нескольких проходов катка при указанном положении вальца степень уплотнения поверхности достигает предела. Далее необходимо для повышения качества дорожного покрытия увеличить давление вальца катка в зоне контакта с уплотняемой поверхностью. В конструкции вальца это достигается втягиванием штока гидроцилиндров 3, а вместе с ними и опорных роликов 2. Так как опорные ролики 2 деформируют обечайку 1 только в горизонтальной плоскости, движение вальца по уплотняемой поверхности аналогично движению гусеничной машины. По торцам обечайки 1 на центральных осях 9 установлены торцевые диски 8, имеющие радиальные прорези 7 и соединенные нежестко с обечайкой 1 посредством цилиндрических упоров 6. Они обеспечивают соединение обечайки 1 вальца катка посредством расположенных на кронштейнах 5 цилиндрических упоров 6 с его рамой 4 и возможность изменения радиуса кривизны обечайки 1 во время её вращения. В случае отсутствия торцевых дисков 8, опорные ролики 2 вместе с рамой 4 начали бы опускаться вплоть до опирания на участок поверхности обечайки 1, а при полном втягивании роликов 2 гидроцилиндрами 3 рама катка могла бы лечь на внутреннюю поверхность обечайки 1. Жесткое крепление торцевых дисков 8 к обечайке 1 не дало бы возможности деформировать обечайку, поэтому диаметр торцевых дисков 8 меньше диаметра обечайки 1 на высоту кронштейнов 5, на которых расположены цилиндрические упоры 6, входящие в радиальные прорези 7 дисков 8. Упоры расположены по окружности внутренней поверхности обечайки 1 и, при изменении радиуса кривизны обечайки 1, двигаются вместе с ней внутри прорезей 7 торцевых дисков 8, удаляясь или приближаясь к оси 9 катка. Торцевые диски 8 всегда находятся на каком-то расстоянии от внутренней поверхности обечайки 1, не сползая к её поверхности, так как расположенные по внутренней окружности обечайки 1 упоры 6, двигаясь по прорезям 7, удерживают торцевые диски 8 от асимметричного перемещения внутри обечайки 1. Система как бы самоцентрируется при количестве упоров больше четырех. И эта же система расположения упоров позволяет вальцу принимать эллиптическую форму, так как при деформировании обечайки 1, когда обечайка уменьшается в вертикальной плоскости и увеличивается в горизонтальной, вместе с обечайкой 1 относительно торцевых дисков 8 движутся кронштейны 5 с цилиндрическими упорами 6, которые передвигаются в радиальных прорезях 7.

Деформация вальца в горизонтальной плоскости (рис. 3, б) за счет увеличения радиуса обечайки увеличивает пятно контакта вальца с уплотняемой поверхностью и уменьшает угол ϕ контакта уплотняемого материала и обечайки вальца катка. Два этих фактора ука-

зывают 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 начале зоны контакта с ним и уплотнять его, а не сдвигать 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.

Валец дорожного катка с гибкой обечайкой является достаточно сложной конструкцией и его работоспособность и изменение текущего радиуса обечайки обеспечивается взаимодействием торцевых дисков 8 и цилиндрических упоров 6, которые имеют возможность перемещаться в пазах 7 торцевых дисков (рис. 2). В период времени, когда обечайка вальца недеформирована, оси пазов 7 и цилиндрических упоров 6 совпадают и упоры могут свободно перемещаться внутри пазов. Когда же обечайка сжата в вертикальной плоскости, точки на поверхности её окружности смещаются на определенный угол, в зависимости от степени сжатия обечайки, а вместе с ними перемещаются и цилиндрические упоры. К тому же, из-за изменения радиуса вальца, оси цилиндрических упоров уже не будут совпадать с осью прорезей торцевых дисков. В итоге изогнутость упоров относительно оси прорезей может достигнуть такого состояния, когда упоры могут заклинить внутри пазов из-за чрезмерного усилия опирания на их грани, вплоть до излома. А так как упоры конструктивно нельзя сделать короче, предлагается сделать пазы торцевых дисков расширяющимися к их наружной образующей. Тогда у упоров появляется дополнительный интервал поверхности для опирания на торцевые диски без угрозы касания их граней при изменении положения упоров с изменением радиуса обечайки вальца.

Произведем расчет оптимального расширения пазов торцевых дисков гибкого вальца катка, при которых будет обеспечена общая работоспособность и надежность дорожного катка в целом.

При сжатии окружности вдоль какой-либо оси симметрии она принимает форму эллипса. Из различных параметров этих двух кривых постоянным остается только длина кривых, т.е.

$$L_{окр} = L_{элл}. \quad (1)$$

Поэтому изменение положения точек окружности при сжатии ее вдоль осей симметрии может быть найдено из этого условия.

Положим, что в результате сжатия окружности радиуса R получен эллипс с полуосями a (горизонтальное направление) и b (вертикальное направление).

В этом случае равенство (1) можно записать в виде

$$\int_0^{2\pi} \sqrt{a^2 \cdot \sin^2 t + b^2 \cdot \cos^2 t} \cdot dt = 2\pi R. \quad (2)$$

Если одна из полуосей эллипса задана, т.е. известна степень сжатия окружности вдоль оси симметрии, то из уравнения (2), используя какой-либо метод приближенного вычисления определенного интеграла, можно найти другую полуось (табл. 1).

После определения полуосей эллипса a и b , для заданной степени сжатия окружности, из уравнения (3) можно найти угол φ , который соответствует какой-либо точке M окружности после ее сжатия

$$\int_0^{\varphi} \sqrt{a^2 \cdot \sin^2 t + b^2 \cdot \cos^2 t} \cdot dt = L. \quad (3)$$

Число L в уравнении (3) равно длине дуги окружности, отсекаемой точкой M и отсчитываемой от оси OX .

Далее, из параметрического уравнения эллипса по полученным a , b и φ находят координаты точки M на эллипсе

$$\begin{cases} x = a \cdot \cos \varphi, \\ y = b \cdot \sin \varphi. \end{cases}$$

Таблица 1

Изменение размеров окружности диаметром 1,2 м при сжатии

Степень сжатия, в проц.	Размеры полуосей эллипса	
	вертикальная	горизонтальная
1	59,4	60,5970
2	58,8	61,1881
3	58,2	61,7734
4	57,6	62,3529
5	57,0	62,9268
6	56,4	63,4950
7	55,8	64,0577
8	55,2	64,6150
9	54,6	64,1668
10	54,0	65,7133

Положение точек окружности обечайки вальца до и после деформирования (сжатие на 10 %, табл. 2) отличаются на 6° . Если считать, что валец движется не только вперед, но и назад, то интервал смещения точек окружности аналогично увеличится еще на 6° в другую сторону. Итого, интервал смещения точек окружности вальца составит 12° .

Таблица 2

Изменение координат точек обечайки вальца для различных степеней её сжатия в вертикальной плоскости

Номера точек	Положение точек на обечайке вальца								
	До сжатия			При сжатии по вертикали на 5%			При сжатии по вертикали на 10%		
	Угол, град	Координаты, см		Угол, град	Координаты, см		Угол, град	Координаты, см	
1	0	60	0	0	62,9268	0	0	64,0	0
2	15	57,96	15,53	15,75	60,5651	15,4694	16,57	62,9884	15,3889
3	30	51,96	30	31,27	53,7901	29,5802	32,61	55,3850	26,0618
4	45	42,42	42,42	46,42	43,3862	41,2858	47,84	44,1645	39,9859
5	60	30	51,96	61,19	30,3279	49,9432	62,31	30,5777	47,7977

6	75	15,53	57,96	75,67	15,5736	55,2268	76,27	15,6059	52,4551
7	90	0	60	90	0	57	90	0	54

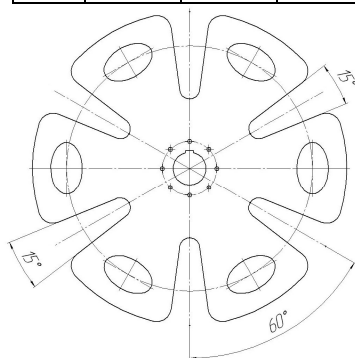


Рисунок 4 – Схема торцевого диска гибкого вальца дорожного катка

Вместе с внутренней поверхностью обечайки вальца, относительно прорезей торцевых дисков, будут смещаться и цилиндрические упоры, входящие в эти прорези. А так как величина смещения достаточно значительна (12°), цилиндрические упоры могут быть деформированы внутри прорезей и согнуты на излом или заклинены внутри них.

Для исключения этого негативного фактора прорези в торцевых дисках должны выполняться не с параллельными сторонами, а под углом не менее 12° (15° , как на рис. 4).

Тогда, даже если цилиндрический упор сместится вместе с обечайкой от своего расположения относительно совместной с прорезью торцевого диска оси, за счет угла наклона прорези не будет происходить заклинивания цилиндрического упора внутри прорези торцевого диска. Для исключения больших прорезей угол наклона их граней следует ограничить диапазоном $12 - 18^\circ$. Конструкция будет работоспособна и надежна.

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Особенности конструкции дорожного катка с гибкой обечайкой его вальца позволяют снизить металлоемкость машины при сохранении уплотняющего эффекта за счет бесступенчатого изменения контактного давления катка на уплотняемую поверхность.
2. Для обеспечения работоспособности конструкции вальца с гибкой обечайкой по предварительному патенту РК №18131 прорези торцевых дисков необходимо выполнять расширяющимися в сторону их наружной окружности под углом не менее 12° .

Список литературы

1. Предварительный пат. РК 18131. А.с. РК № 51084. МПК E01C 19/26, E01C 19/23. Валец дорожного катка / М.В. Дудкин, П.С. Кузнецов, М.А. Сакимов, А.А. Головин, А.К. Кыялбаев. – Оpubл., 15.12.2006, Вкл. № 12.
2. Дудкин М.В. Моделирование движения гибкого вальца дорожного катка по уплотняемой поверхности и его проверка экспериментальным путем / М.В. Дудкин, М.А. Сакимов, Б.О. Востанов, Е.С. Темирбеков // Труды КГТУ: науч.-техн. журнал Красноярского государственного технического университета. – 2006. – № 4. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – С. 59–69.

Получено 9.01.09

УДК 621.744.4

С.Ж. Касымханов, Ж.Б. Бакиров

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Все эксперименты по исследованию реологических свойств формовочной смеси четко указывают на то, что смесь при динамическом нагружении обладает тремя фундаментальными реологическими свойствами: упругостью, вязкостью и пластичностью. Для

описания свойств любого тела создают механические модели, состоящие из моделей идеальных тел, собранных в нужном сочетании. Связь между напряжением и деформацией как в упругой и упруговязкой, так и в вязкопластической областях в смеси можно описать с помощью пятиэлементной реологической модели, показанной на рис. 1. Здесь E_i – модуль упругости пружин, η_i – коэффициенты вязкости демпферов.

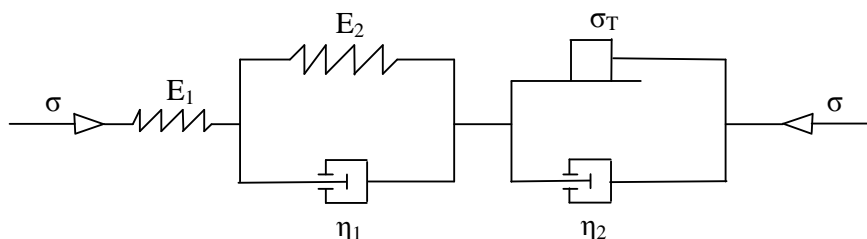


Рисунок 1 – Реологическая модель формовочной смеси

Формовочная смесь уплотняется только при возрастании напряжения, поэтому в этой модели классическое пластическое тело надо заменить пластическим телом, у которого предел текучести зависит от величины деформации, то есть от текущей плотности смеси. Свойства такого тела могут быть описаны моделью, состоящей из бесконечного ряда тел Сен-Венана, соединенных параллельно. Тела включаются в работу последовательно, при этом у каждого последующего тела предел текучести больше предела текучести предыдущего тела.

При принятом соединении элементов связь между напряжением и деформацией можно записать так:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2, \quad \sigma = E_2 \varepsilon_2 + \eta_1 \dot{\varepsilon}_2 \quad \text{при } \sigma \leq \sigma_T; \quad (1)$$

$$\sigma = \sigma_T + \eta_2 \dot{\varepsilon} \quad \text{при } \sigma > \sigma_T. \quad (2)$$

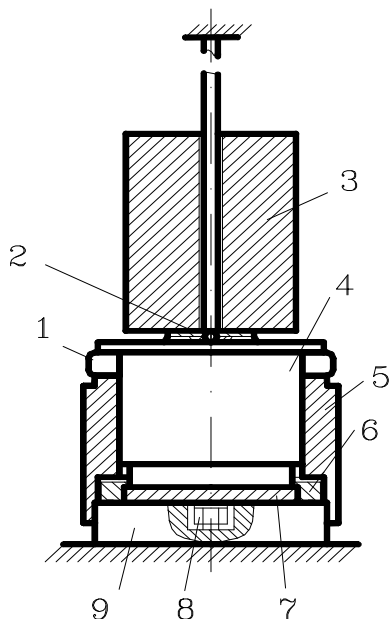


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

Параметры элементов модели определяются экспериментально на установке для изучения сжимаемости грунтов при одноосном ударном нагружении без бокового расширения (рис. 2).

Образец 7 помещается в жесткую гильзу 6, установленную на основание 9, и сжимается поршнем 4, центрирующемся в цилиндре 5. Динамическая нагрузка передается центральным ударом падающего с высоты груза по верхнему торцу поршня через резиновые прокладки 2. Сжимающиеся напряжения в смеси регистрировались датчиком давления 8. Для измерения перемещения поршня использованы три равномерно расположенных по окружности датчика 1 в виде скоб, закрепленных между фланцем поршня и верхним торцом цилиндра 5. Полумостовые схемы датчиков давлений и перемещений подключены к устройствам

питания и балансировки, а полезные сигналы подавали на выходы запоминающего осциллографа С8-17, развертку которого запускали сигналом датчика ускорения типа АВС 017-04, установленного на поршне.

Эти эксперименты позволяют получить графики изменения напряжений в смеси и перемещений поршня во времени: $\sigma(t)$, $x(t)$. Определяя деформацию как $\varepsilon = x/h$, где h – высота образца перед ударом, можно, исключая время, получить диаграмму деформирования $\sigma - \varepsilon$. Эти три графика в совокупности позволяют определить параметры предложенной реологической модели.

На рисунке 3 приведены графики зависимости $x(t)$ и $\sigma(t)$ для песчано-глинистой смеси влажностью $\omega = 3,2\%$, сырой прочностью на сжатие 70 кПа и с начальной плотностью $\rho = 1450 \text{ кг/м}^3$ при испытаниях со скоростью удара $V_0 = 1 \text{ м/с}$. На рисунке 4 показана диаграмма деформирования, полученная из этих графиков исключением времени.

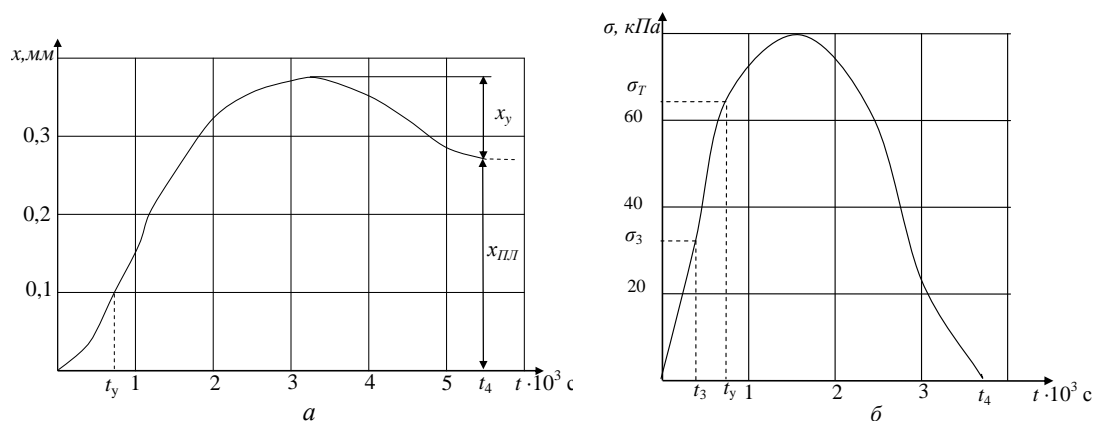


Рисунок 3 – График изменения перемещений (а) и напряжений (б) в смеси во времени

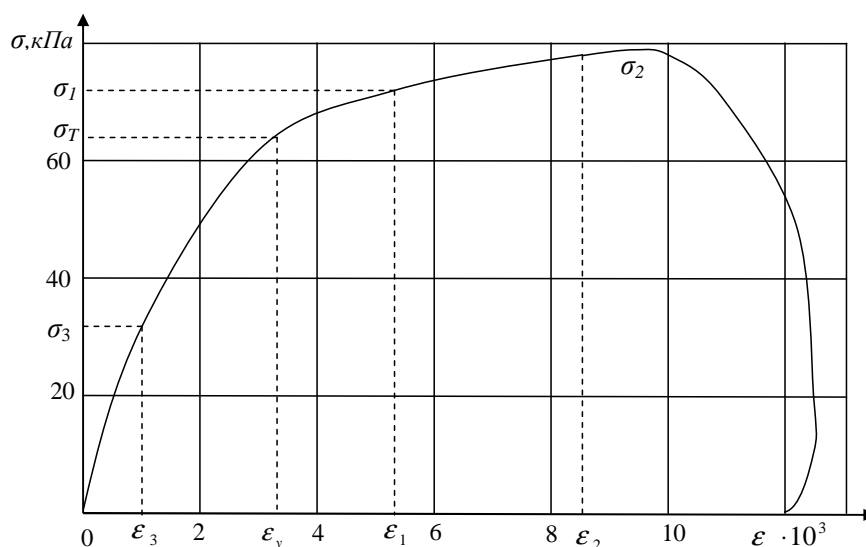


Рисунок 4 – Диаграмма деформирования формовочной смеси

Предел текучести легко определить по диаграмме деформирования как окончание линейного участка диаграммы. Если трудно выделить линейный участок, то поступаем следующим образом. На графике $x(t)$ четко фиксируется максимальное значение x_{max} и конечное пластическое перемещение $x_{пл}$. Упругое перемещение x_y равно их разности. По этой величине из графика находим время конца упругих деформаций t_y , а по нему из графика $\sigma(t)$ находим предел текучести σ_T .

Выделяя на вязкопластическом участке диаграммы деформирования точки 1 и 2, разделенные по времени очень малым промежутком Δt , и полагая $\dot{\epsilon} = \Delta \epsilon / \Delta t$, согласно выражению (2) можно записать

$$\eta_2 = (\sigma_2 - \sigma_1) \Delta t / (\epsilon_2 - \epsilon_1).$$

Значения модуля упругости E_2 можно определить, принимая изменение σ на участке $0 - \sigma_T$ линейным:

$$E_2 = \sigma_T / \varepsilon_y = \sigma_T h / x_y.$$

По времени упругого последствия определяем коэффициент вязкости:

$$\eta_2 = \theta E = (t_4 - t_3) E_2,$$

где t_3 – время прихода напряжения в ноль;

t_4 – время стабилизации конечного перемещения $x_{пл}$.

Для определения E_1 выбираем точку 3 на диаграмме $\sigma - \varepsilon$ достаточно близко к началу координат. На участке 0 – 3 значение $\dot{\varepsilon}_2$ можно считать постоянным $\dot{\varepsilon}_2 = \Delta \varepsilon_2 / \Delta t$, где Δt – время, за которое напряжение достигло значения σ_3 . Тогда из второго уравнения соотношения (1) находим

$$\varepsilon_2 = \sigma_3 / (E_2 + \eta_1 / \Delta t).$$

Многочисленные эксперименты разных авторов показывали, что физико-механические свойства смеси зависят не только от состава и влажности, но и от её плотности ρ . Поэтому были проведены эксперименты для песчано-глинистой смеси с влажностью 3,2 % и сырой прочностью 0,07 МПа при различных начальных плотностях. Обработка экспериментальных данных позволяет получить зависимость реологических параметров от плотности. Эти зависимости могут быть представлены в виде экспонент $y = a \exp(b\rho)$, где a , b – экспериментальные коэффициенты, зависящие от вида смеси и вида реологического параметра.

Список литературы

1. Карпов Ю.И. Напряженно-деформированное состояние формовочных смесей при динамическом нагружении // Литейное производство. – 2001. – №10. – С.11-13.
2. Коротченко А.Ю. Реологическая модель динамического уплотнения формовочной смеси / А.Ю. Коротченко, А.В. Коньшев, В.И. Вербицкий // Литейное производство. – 1989. – № 8. – С.25-27.
3. Матвеев И.В. Динамические и импульсные процессы и машины для уплотнения литейных форм / И.В. Матвеев, А.З. Исагулов, А.А. Дайкер. – Алматы: Ғылым, 1998. – 345 с.

Получено 4.02.09

УДК 004: 656.13.05

А.А. Макенов

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Проблема обеспечения безопасности дорожного движения в городах Республики Казахстан может быть решена при эффективном проведении комплекса правовых, техниче-

ских, экономических и других социальных мер. Это будет способствовать повышению безопасности движения всех его участников и нормальному функционированию системы передвижения городского населения с минимальными затратами времени и необходимым комфортом.

Современные требования к повышению качества принимаемых решений и интенсификации труда обуславливают необходимость внедрения в практику организации дорожного движения методов и систем автоматизированного проектирования (САПР).

При решении задач организации дорожного движения методы и средства САПР могут быть использованы для автоматизированного проектирования схемы дислокации технических средств организации дорожного движения на улично-дорожной сети городов, других населенных пунктов и на автомобильных дорогах, проектирования информационно-указательных дорожных знаков, светофорного регулирования и паспортов светофорных объектов и т.д.

Схема дислокации дорожных знаков и дорожной разметки для каждой улицы и дороги составляется с учетом следующих особенностей:

- обеспечение информацией участников дорожного движения обо всем маршруте следования и расположении основных объектов обслуживания;
- выделение участков с характерными условиями движения, составление предварительной схемы дислокации;
- уточнение видов дорожных знаков и дорожной разметки, изыскание возможности уменьшения числа дорожных знаков и видов дорожной разметки, выбор типоразмера дорожных знаков и мест их установки, вида и материала для дорожной разметки и способа ее нанесения, корректировка предварительной схемы дислокации.

При разработке схемы дислокации дорожных знаков и дорожной разметки необходимо учитывать принятую схему организации движения, а также схему транспортных корреспонденций в целом по городу, в первую очередь транзитных транспортных потоков.

Автоматизированное проектирование схемы дислокации дорожных знаков и дорожной разметки предполагает решение следующих задач:

- систематизация информации, которая получена в результате натурных наблюдений на улице, и создание исходной базы данных;
- возможность оперативного дополнения и изменения базы данных исходной информации при корректировке схемы дислокации;
- возможность получения всего комплекта текстовых и графических документов, которые необходимы для схемы дислокации;
- совместимость с программными средствами, которые используются в подразделениях дорожной полиции, дорожных организациях и др.

Сбор и обработка информации для составления схемы дислокации дорожных знаков и дорожной разметки выполняется в следующей последовательности:

- натурное обследование улицы (дороги);
- создание информационной базы исходных данных (фактическое наличие и дислокация дорожных знаков и дорожной разметки, характерные участки и элементы);
- корректировка и дополнение фактической схемы дислокации дорожных знаков и дорожной разметки;
- формирование выходных текстовых и графических материалов (ведомость и номенклатура дорожных знаков и дорожной разметки, схема дислокации дорожных знаков и дорожной разметки).

Одним из специфических направлений обеспечения информацией участников дорожного движения является маршрутное ориентирование водителей транспортных средств. Эта задача становится все более актуальной в современных условиях дорожного движения в городах. Одним из основных этапов создания системы маршрутного ориентирования водителей транспортных средств на улично-дорожной сети городов является разработка рациональной компоновки информационно-указательных знаков индивидуального проектирования. Для автоматизированного проектирования информационно-указательных дорожных знаков используются различные программы [1-3]. Они позволяют выбрать оптимальное размещение информации на поле знака заданных размеров с учетом требований действующих стандартов [4-5].

Автоматизированное проектирование индивидуальных информационно-указательных дорожных знаков включает, как правило, следующие этапы работы [3]:

- формирование чертежа (выбор формата бумаги, задание установок по оформлению чертежа, наличие штампов, таблиц, примечаний и т.п.);
- создание знака (компоновка элементов знака, редактирование их параметров, расстановка размеров);
- подготовка и вывод на печать чертежа знака или экспорт его в другие системы в соответствующих форматах.

Одним из наиболее распространенных программных продуктов для этих целей является программа ZNAK, которая разработана компанией «Кредо-Диалог». В настоящее время используется современная версия этой программы ZNAK 4.4.

Расчет режима светофорной сигнализации при достаточно сложной схеме организации движения на перекрестке является довольно трудоемким, особенно если учесть, что для активного периода суток требуется несколько программ управления. Подобные расчеты необходимо выполнить несколько раз с анализом критерия качества управления. Применение для этих целей средств вычислительной техники позволяет не только значительно сократить трудоемкость расчетов, но и осуществить автоматизированный поиск оптимальных вариантов решений.

В простейшем случае ЭВМ применяется для расчетных операций, связанных с определением длительности цикла регулирования, промежуточных и основных тактов, задержек транспортных средств. При этом предварительно должна быть намечена схема организации движения на перекрестке. Программа расчета предусматривает ввод следующих исходных данных [6]:

- число фаз регулирования и направлений движения в каждой фазе;
- интенсивность движения и потоки насыщения для каждого направления в каждой фазе;
- длина и скорости транспортных средств при проезде перекрестка, а также расстояния, проходимого ими от стоп-линии до самой дальней конфликтной точки;
- ширина проезжей части, пересекаемой пешеходами в каждой фазе.

При наличии трамвайного движения необходимы дополнительно длина трамвая и скорость его движения в пределах перекрестка, путь движения трамвая от стоп-линии до самой дальней конфликтной точки.

Как правило, данные вводят отдельно для каждой фазы регулирования.

В процессе ввода исходных данных можно их варьировать с целью предварительного поиска наилучшей схемы организации движения. Критерием может служить средневзвешенная задержка транспортных средств, которая выводится на печать вместе с пара-

метрами режима регулирования. Снижение задержек и степени насыщения рассматриваемого направления возможно путем изменения специализации полос движения в отдельных направлениях какой-либо из фаз регулирования.

Необходимость этих мероприятий может возникнуть в процессе ввода исходных данных, а также после анализа результатов расчета. Таким образом, при использовании данного алгоритма путем нескольких просчетов режима светофорной сигнализации можно совершенствовать схемы организации движения.

В программу расчета закладываются определенные ограничения, которые связаны с максимальной и минимальной длительностями цикла регулирования, а также с минимальным основным тактом. Данные расчета, которые выводятся на печать, являются достаточными для построения графика работы светофорной сигнализации.

Нами (с учетом вышеуказанных положений) созданы программы, которые позволяют выполнять автоматизированный расчет параметров светофорного регулирования на объекте улично-дорожной сети (изолированный перекресток, магистральная улица). Эти программы объединены в программный комплекс «SIGNAL» [6].

В некоторых случаях наряду с расчетом режима светофорного регулирования необходимо осуществить поиск оптимальной схемы организации движения на перекрестке. При этом ЭВМ перебирает все возможные варианты по заданному критерию эффективности (как правило по задержке транспортных средств и пешеходов).

Помимо перечисленных исходных данных, в память ЭВМ вводят число подходов к перекрестку и количество полос на каждом подходе, а также ограничения, связанные с допустимостью конфликтных точек, максимальной загрузкой полосы, возможностями дорожного контроллера и т.д.

Варианты перебирают путем объединения геометрических направлений движения в регулируемые направления, для которых моменты включения и выключения сигналов одинаковы. Схема организации движения составляется из отдельных элементов – групп одновременно обслуживаемых регулируемых направлений.

Проектирование схемы организации движения рекомендуется выполнять в последовательности, которая предусматривает использование программных средств, реализующих основные положения методики по определению допустимости конфликтных точек (рис. 1) [6].

Оценка допустимости конфликтных точек (блок 4) производится на основе использования специальной программы, которая должна обеспечивать возможность задания исходных данных для оценки всех конфликтных точек в ходе однократного обращения к ним.

Исходными данными в программе являются:

- картограмма интенсивности движения транспортных средств (12 значений) и пешеходов (8 значений);
- число полос движения на подходах к перекрестку (4 значения);
- длина пешеходного пути при пересечении проезжей части в отдельных направлениях (4 значения и более, если есть островки безопасности).

Выходные данные: заключение о допустимости конфликтной точки между парой (i, j) геометрических направлений путем присвоения значений элементам массива $K(i, j)$ ($i, j = 1, 20$):

- $K_{ij} = -1$, если конфликтная точка отсутствует;
- $K_{ij} = 0$, если конфликтная точка допустима;

- $K_{ij} = 1$, если конфликтная точка недопустима.

Конкретные решения в каждом случае зависят от реальных параметров взаимодействия потоков на перекрестке и схем организации движения.

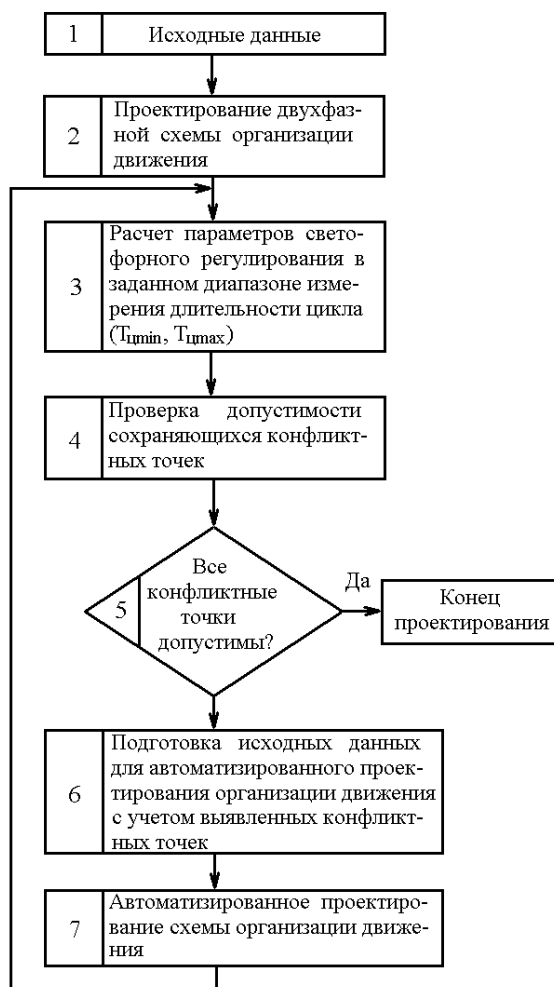


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма проектирования схемы организации движения на перекрестке

Для осуществления учета технических средств организации дорожного движения необходимо разработать и повсеместно применять в практической деятельности паспорта светофорных объектов. При подготовке паспортов используется рабочая документация, которая позволяет производить регистрацию всех технических средств, установленных на объекте улично-дорожной сети (перекресток, улица, городская улица): ведомость технических средств организации дорожного движения, акт рабочей комиссии о приемке законченного строительства, акт проведения работ на объекте, карточка учета профилактических работ, дефектная ведомость и др. В состав паспорта светофорного объекта включаются данные, которые необходимы для расчета основных параметров цикла регулирования. Графическая часть паспорта светофорного объекта должна включать в себя план реального объекта, картограмму интенсивности транспортных и пешеходных пото-

ков, схему организации движения и график работы светофоров.

Необходимость в наличии своевременной и достоверной информации о существующей организации движения, а также внесение соответствующих изменений является основой для разработки паспортов светофорных объектов с использованием средств вычислительной техники. С этой целью нами разработано программное приложение «Паспорт светофорного объекта» [7]. Данное приложение обеспечивает возможность внесения паспортов светофорных объектов в единую базу данных, хранения и работы с уже имеющейся информацией, а также вывода необходимых материалов на печать. В качестве главного окна программного приложения использована топографическая схема улично-дорожной сети города, которая обеспечивает достаточную наглядность и быстроту поиска необходимых данных, с обозначением перекрестков условным символом (точка). При выборе конкретного светофорного объекта можно получить всю необходимую информацию о нем.

План перекрестка выполняется в соответствующем масштабе с указанием необходимых размеров. На плане должны быть показаны все использованные технические средства организации дорожного движения: дорожные знаки, дорожная разметка, дорожные светофоры, направляющие пешеходные ограждения. Необходимую информацию можно получить путем выбора интересующего перекрестка при помощи манипулятора «мышь». В результате этого открывается окно просмотра данных, а затем выбирается закладка «План перекрестка» (рис. 2).

Построение картограммы интенсивности транспортных и пешеходных потоков выполняется на основе результатов натурных наблюдений за процессом дорожного движения на объекте в реальных условиях. Для обеспечения наглядности при построении картограммы можно использовать различный масштаб для транспортных и пешеходных потоков. Эта информация так же выбирается из окна просмотра данных по соответствующей закладке.

Схема организации движения представляет собой по существу оптимальную схему пофазного разезда. Она состоит из нескольких чертежей (по количеству фаз), на которых указываются направления движения транспортных средств и пешеходов в данной фазе, а также обозначение и нумерация транспортных и пешеходных светофоров.

Вывод на экран схемы организации движения осуществляется выбором закладки «Схема пофазного разезда» (рис. 3).

График работы светофоров представляет собой временную диаграмму режима регулирования с указанием длительностей сигналов и последовательности их включения. Условное обозначение элементов светофорного регулирования на плане перекрестка, схеме пофазного разезда и графике работы светофоров должно соответствовать требованиям нормативных документов. При построении графика работы светофоров допускается изображать основные сигналы светофора соответствующими цветами.

Создание программного приложения по паспортизации светофорных объектов позволит обеспечить существенное повышение производительности и качества выполняемой работы сотрудников, а также значительное сокращение времени на поиск необходимой информации. В дальнейшем на его основе может быть создано автоматизированное рабочее место (АРМ) специалиста по организации дорожного движения. При этом проектирование АРМ должно быть ориентировано на работу в составе локальной вычислительной сети (ЛВС).

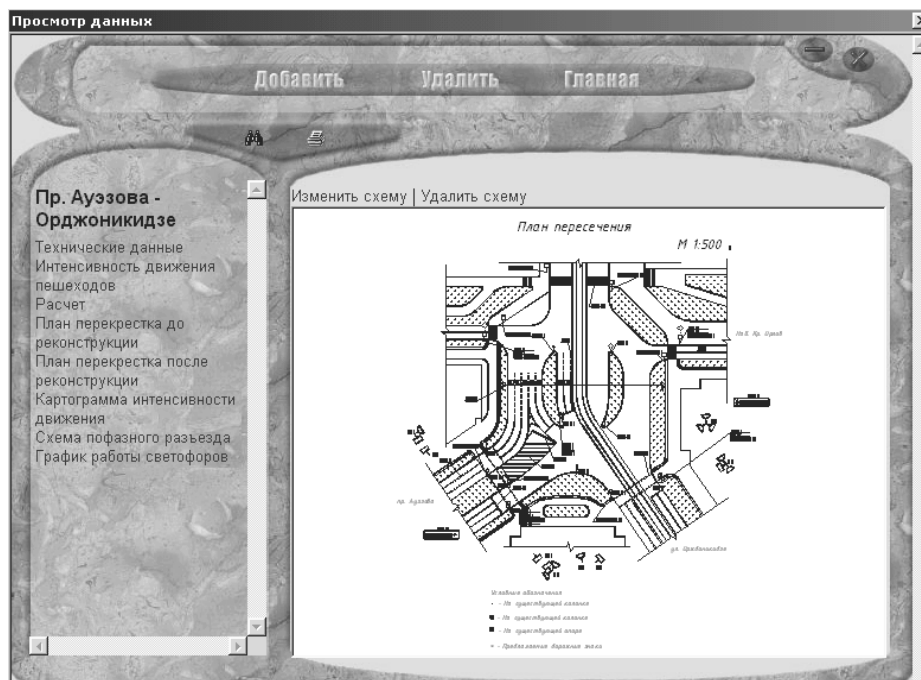


Рисунок 2 – План перекрестка

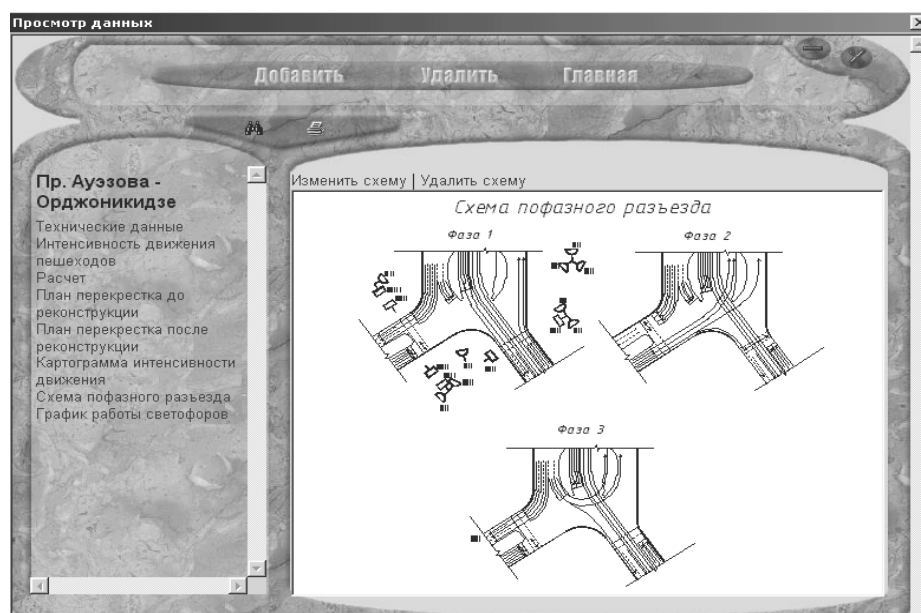


Рисунок 3 – Схема организации движения

Одним из основных направлений по совершенствованию организации дорожного движения в городах является разработка и внедрение в практику работы подразделений дорожной полиции информационной системы «Улично-дорожная сеть». Данная система должна обеспечить выполнение следующих задач:

– создание базы данных о дорожно-транспортных происшествиях (ДТП), автоматизи-

рованная обработка и формирование на этой основе различных отчетных форм и справочных документов;

– автоматизированный учет информации о технических средствах организации дорожного движения;

– топографическое отображение на карте города расположения мест концентрации ДТП; технических средств организации дорожного движения; маршрутов перевозки опасных, крупногабаритных и тяжеловесных грузов; железнодорожных переездов; маршрутов движения пассажирского транспорта, в том числе и рельсового транспорта, и т.д.

Все это будет способствовать повышению безопасности и эффективности дорожного движения на улично-дорожной сети городов Республики Казахстан.

Список литературы

1. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
2. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.В. Афанасьев: Учеб. для вузов. – М.: ИКЦ «Академ-книга», 2005. – 279 с.
3. Кузнецов Н.Н. Автоматизированное проектирование индивидуальных дорожных знаков // Автомобильные дороги. – 2007. – № 5. – С. 80-82.
4. СТ РК 1125-2002 Знаки дорожные: Общие технические условия. – Астана, 2002. – 120 с.
5. СТ РК 1412-2005 Технические средства организации дорожного движения: Правила применения. – Астана, 2006. – 110 с.
6. Макенов А.А. Инженерные расчеты параметров светофорного регулирования: Учеб. пособие. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2003. – 86 с.
7. Макенов А.А. Паспортизация светофорных объектов с применением ЭВМ / А.А. Макенов, М.В. Ульянов // Вестник ВКГТУ. – 2002. – № 4. – С. 46-51.

Получено 15.01.09

УДК 625.7/8

Р.О. Оралбеков

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
В СЛОЖНЫХ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Основной задачей проектирования автомобильных дорог является выбор варианта трассы с минимальной суммой строительно-эксплуатационных затрат при условии обеспечения безопасности движения, устойчивости земляного полотна и искусственных сооружений на отдаленную перспективу. Задача повышения эффективности и качества проектных работ может быть решена при широком применении средств вычислительной техники, новых приборов и за счет разработки и внедрения в производство математических методов автоматизированного оптимального проектирования. Новые подходы к решению этой важной задачи позволяют выбирать наиболее оптимальные методы как с точки зрения экономичности, так и безопасности. К таким методам относятся аэрокосмические съемки и методы их дешифрирования и приобретающие все большее применение ГИС-технологии [1].

Под геоинформационной системой (ГИС) понимают интегрированную автоматизированную систему и комплексную компьютерную технологию, базирующуюся на последних достижениях науки и техники в области информатики, космической навигации, элек-

тронной тахеометрии, аэрокосмической и наземной стереофотограмметрии, поверхностного зондирования, связи, организации баз данных и предназначенную для получения, ввода, хранения, обновления, обработки, визуализации различных видов географически привязанной информации для оперативного комплексного анализа, прогнозирования и принятия решений по широкому кругу вопросов, связанных с картографированием, изысканием, проектированием, строительством и эксплуатацией инженерных объектов, диагностикой, паспортизацией, экономикой, экологией, сервисом, демографией, безопасностью [2].

Концепция послойного представления графической информации была заимствована из систем САПР, однако в ГИС она получила новое качественное развитие, так, например [2]:

- тематические слои в ГИС представляются не только в векторной форме (как в САПР), но и в растровой форме;
- векторные данные в ГИС обязательно являются объектными, т.е. несут информацию об объектах, а не об отдельных их элементах, как в САПР;
- тематические слои в ГИС являются определенными типами цифровых картографических моделей, пространственными на основе объединения пространственных объектов, имеющих общее свойства или функциональные признаки.

Существуют способы и технологии перехода от одних представлений графической информации в ГИС к другим, например векторно-растровое или растрово-векторное. Традиционные технологии подготовки цифровых и электронных карт в ГИС предусматривают использование для этой цели топографических карт на бумажных носителях. Данные космических съемок, аэросъемок и наземных фототеодолитных съемок, осуществляемые с использованием специальной электронной съемочной аппаратуры в цифровом виде (электронная фотография), вводят непосредственно в память компьютера, минуя бумажную стадию при подготовке графических данных в ГИС.

Конечным результатам инженерных изысканий при проектировании на уровне САПР является получение крупномасштабных топографических планов и цифровых моделей на одни и те же участки местности в единой системе координат.

Цифровой моделью местности (ЦММ) называют совокупность точек, предназначенных для аппроксимации местности, с известными трехмерными координатами и различными кодовыми обозначениями.

Математической моделью местности (МММ) называют математическую интерпретацию цифровых моделей для компьютерного решения конкретных инженерных задач.

Конечной целью изысканий для строительства линейных инженерных объектов является получение топографического плана местности в пределах широкой полосы варьирования вариантов трассы и цифровой модели рельефа, а также геологического строения этого участка местности (ЦММ) в единой системе координат. По ЦММ и получаемым на их основе математическим моделям местности (МММ) в конечном итоге осуществляют системное, автоматизированное проектирование всех конкурентных вариантов трассы линейных сооружений.

При этом все известные ЦММ можно разбить на три большие группы: регулярные, нерегулярные и статистические. Наиболее универсальными являются статистические ЦММ. Они предполагают в своей основе нелинейную интерполяцию высот поверхностями второго, третьего и т.д. порядков. При создании массива исходных данных статистической ЦММ точки для ее формирования выбирают в зависимости от случайного распределения, близкого к равномерному.

Массивов исходных точек статистической ЦММ представляют в виде:

$$x_1, y_1, H_1, x_2, y_2, H_2, \dots, x_n, y_n, H_n,$$

где $x_1, y_1, H_1, \dots, x_n, y_n, H_n$ – координаты точек статистической модели.

Цифровые модели рельефа и геологического строения местности формируют на основе использования материалов наземных и аэрокосмических изысканий. Целесообразно использовать те методы топографических съемок, которые обеспечивают получение информации о местности в электронном виде, что позволяет максимально автоматизировать процесс подготовки топографических планов и ЦММ.

Инженерно-геологические изыскания выполняют комплексно с использованием методов традиционной инженерно-геологической разведки и методов наземной геофизики с автоматической регистрацией результатов измерений на магнитные носители. Цифровые и математические модели, представляемые в геодезических прямоугольных координатах без искажения масштабов, тем не менее, могут характеризоваться различной точностью и степенью детализации элементов рельефа, ситуации и геологического строения местности, что связано с категорией рельефа, ситуационными особенностями аппроксимируемого участка местности, масштабами используемых для построения ЦММ топографических планов и материалов аэросъемок, с принятым типом цифровой модели, плотностью исходных точек, методикой аппроксимации поверхности. Необходимая точность модели обязательно должна быть увязана с требуемой точностью решаемых по ней инженерных задач.

При использовании для построения ЦММ материалов традиционных топографических съемок точность ситуационных контуров принимают в соответствии с точностью выполняемых топографических съемок, равной 1 мм в масштабе плана. Точность представления рельефа не должна выходить за пределы $\frac{1}{4}$ высоты сечения горизонталей в равнинной местности, $\frac{1}{2}$ высоты сечения – в пересеченной местности и 1 высоты сечения – в горной. Точность ЦММ при использовании материалов топографических съемок, выполненных с помощью электронных тахеометров или приемников спутниковой навигации «GPS», учитывая, что запись информации ведется безошибочно на магнитные носители, зависит главным образом от точности используемых приборов.

При построении ЦММ по существующим топографическим планам и картам характерные точки местности снимают с точностью, принимаемой равной: 0,5 мм – для отображения ситуационных особенностей местности; 0,2, 0,3 и 0,5 высоты сечения – для отображения соответственно равнинного, пересеченного и горного рельефов.

Для обеспечения необходимой точности аппроксимации рельефа местности плотность исходного массива точек (среднюю удаленность друг от друга) для регулярных и нерегулярных (статистических) моделей принимают [3]:

- в равнинной местности – 20...30 м;
- в пересеченной местности – 10...15 м;
- в горной местности – 5...7 м.

Решение наиболее актуальной задачи при математическом моделировании рельефа и инженерно-геологического строения местности заключается в определении высот точек местности, а также уровней грунтовых вод и соответствующих геологических напластований в пикетных и плюсовых точках по оси запроектированных вариантов трассы на

поперечниках.

Задача определения высот точек трассы, уровней грунтовых вод и поверхностей геологических напластований сводится к нахождению в каждом случае тех трех смежных исходных точек модели, между которыми попадает соответствующая искомая точка трассы, в нахождении коэффициентов уравнения плоскости, проходящей через эти три точки, и, наконец, в определении по полученному уравнению искомой высоты.

Наиболее универсальными являются статистические ЦММ, математическая реализация которых заключается в использовании метода «плавающего квадрата» или «плавающего круга», в пределах которого строится криволинейная поверхность n -го порядка.

Наиболее часто для математического моделирования рельефа используют уравнения поверхности 2-го порядка:

$$H = AX^2 + BXY + CY^2 + DX + EY + F,$$

где X, Y – известные проектные координаты точки, высоту которой требуется определить;

A, B, C, D, E, F – коэффициенты уравнения аппроксимирующей поверхности 2-го порядка.

Основная идея «плавающей» аппроксимации заключается в том, что по трассе дороги от точки к точке перемещается круг или квадрат таким образом, что каждая точка трассы, высоту которой требуется определить, размещается в его центре. Поскольку коэффициенты A, B, C, D, E и F в аппроксимирующем уравнении не известны, то для каждой точки модели, попавшей в пределы круга или квадрата, записывают уравнения:

$$H_j = Ax_j^2 + Bx_j y_j + Cy_j^2 + Dx_j + Ey_j + F,$$

$$H_k = Ax_k^2 + Bx_k y_k + Cy_k^2 + Dx_k + Ey_k + F,$$

$$\dots\dots\dots$$

$$H_n = Ax_n^2 + Bx_n y_n + Cy_n^2 + Dx_n + Ey_n + F,$$

где A, B, C, D, E и F – неизвестные коэффициенты уравнения аппроксимирующей поверхности; $H_j, x_j, y_j, \dots, H_n, x_n, y_n$ – известные координаты точек модели, попавших в пределы круга или квадрата.

Основываясь на трудах В.Н. Бойкова, Г.А.Федотова, В.А.Федотова, В.Ю. Голубина, В. Кюна, В.Фулчика, которые исследовали применимость сплайнов при проектировании автомобильных дорог в равнинной местности, для корректного математического описания трассы горных дорог можно использовать алгебраические сплайны 1-й, 2-й и 3-й степеней (которые, в свою очередь, подразделяются на интерполяционные и сглаживающие).

Значительный интерес также представляют В-сплайны, клотоидные и рациональные сплайны. Для проектирования плана и продольного профиля автомобильной дороги сплайны можно определить двумя способами: исходя из взаимного согласования простых функций и из решения задачи минимизации [4].

К сплайнам, определяемым по первому способу, можно отнести интерполяционные сплайны, которые необходимы для аналитического представления дискретно заданной информации. Сглаживающие сплайны определяют чаще всего на основе второго способа. Именно сглаживающие сплайны, по нашему мнению, должны найти самое широкое применение для оптимизации тех проектных решений, которые на начальной стадии рассмотрения носят, как правило, приближенный характер.

Традиционное трассирование проектной линии продольного профиля заключается в том, что подбираются отрезки параболических кривых второй степени, которые наилучшим об-

разом укладываются в эскизную линию. Рассчитать подобранные отрезки (элементы) означает согласовать их между собой исходя из условия неразрывности первой производной (с гладкостью первого порядка). При тангенциальном трассировании согласование элементов выполняется в пределах одного угла поворота. Подбор элементов на следующем угле не зависит от предыдущего. Но если смежные вершины ломаной расположены близко, то смежные закругления начинают конфликтовать (накладываются друг на друга), что особенно часто происходит на реконструируемых трассах. Трассирование по принципу «гибкой линейки» с применением квадратических сплайнов более технологично в том смысле, что в отличие от случая тангенциального трассирования вычисление единой интерполирующей линии по заданным высотным отметкам выполняется за один проход, и проблемы согласования смежных закруглений не возникает. Сглаживающие сплайны целесообразнее применять на долинных участках, а нетрадиционные – на перевальных участках.

Экспериментальные исследования для дальнейшего совершенствования автоматизации проектирования автомобильных дорог в сложных погодных-климатических условиях с использованием современных геодезических приборов, математического моделирования и вычислительной техники позволяют выявить характерные отличия горных дорог от равнинных. При проведении экспериментальных наблюдений необходимо собрать данные для автоматизации проектирования и применения трехмерного компьютерного моделирования при проектировании автомобильных дорог в сложных погодных-климатических условиях.

Необходим дифференцированный учет характерных особенностей горно-складчатых областей при проектировании на дорогах (в том числе учет микроклимата придорожной полосы), обусловленных постройкой сооружений, ее экспозицией по отношению к сторонам света, высотой над уровнем моря, гидрогеологическими условиями и другими факторами, дающими возможность принимать оптимальные проектные решения.

Непосредственной задачей изучения режимов движения транспортных потоков на характерных участках горных дорог являлось исследование [5]:

- 1) скорости движения автомобилей разных типов в потоке;
- 2) распределения интервалов между автомобилями одного за другим;
- 3) статистических характеристик выполнения маневров.

Исследование закономерностей движения транспортных потоков на извилистых участках автомобильных дорог требует сбора и обработки большого количества данных о его характеристиках в течение длительных промежутков времени, поэтому необходимо тщательное обоснование продолжительности наблюдений. Учет многообразия факторов, существенно влияющих на транспортно-эксплуатационные показатели дорог, которые характеризуют их качество при проектировании и эксплуатации, предполагает применение научно обоснованного метода проведения экспериментальных исследований, то есть его планирование. Под планированием эксперимента понимается организация экспериментальных исследований, позволяющих получить и собрать необходимые данные и применить для их анализа методы математической статистики с целью получения объективных выводов.

Учет выявленных характерных особенностей областей со сложными погодными-климатическими условиями позволяет:

- совершенствовать планирование капитальных затрат на строительство и эксплуатацию транспортных сооружений на дорогах;
- повысить качество и надежность принимаемых проектных решений, снизить трудоемкость и продолжительность проектно-исследовательских работ;

- обеспечить охрану окружающей среды при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений на автомобильных дорогах.

На основе проведенных теоретических разработок, экспериментальных наблюдений, обработки и дешифрирования аэрокосмических снимков (различной разрешающей способности с использованием ГИС-технологий) можно решить проблему автоматизации проектирования на базе применения трехмерного компьютерного моделирования для проектирования автомобильных дорог в районах со сложными погодными-климатическими условиями, а также разработать более совершенные цифровые математические модели рельефа местности, учитывающие выявленные особенности районов со сложными погодными-климатическими условиями, позволяющие оценить уровень безопасности движения на автомобильных дорогах на стадии проектирования. Необходимо шире использовать возможности разработанных новых принципов сбора достоверной исходной инженерно-геодезической и геологической информации, используемой в САПР-АД при проектировании горных дорог.

Применение новых методов автоматизации проектирования дорог в условиях со сложными погодными-климатическими условиями позволяет учесть весь комплекс воздействующих факторов при проектировании. К современным цифровым картам, используемым при автоматизированном проектировании для таких условий, предъявляются определенные требования независимо от того, какими методами и техническими средствами они создавались, то есть они должны полностью отвечать требованиям, предъявляемым к образным-цифровым картам.

Качественное проектирование автомобильных дорог в современных условиях возможно лишь при системной автоматизации производства. Исследования показали, что системная автоматизация должна охватывать все стадии изысканий и проектирования от сбора и обработки исходной информации до оформления проектно-сметной документации.

В дальнейшем развитии САПР-АД наметилось несколько подходов. Для дорог, расположенных в районах со сложными погодными-климатическими условиями, наиболее целесообразен подход, который основан на том, что в качестве ядра системы проектирования принимается какой-либо векторный графический редактор общего назначения, получивший широкое признание и являющийся достаточно подходящим для этих целей.

Список литературы

1. Геоинформационные системы в дорожном хозяйстве: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД) / А.В. Скворцов, П.И. Поспелов, В.Н. Бойков, С.П. Крысин. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2006. – Т. VI. – 372 с.
2. Федотов Г.А. Проектирование автомобильных дорог: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД) / Г.А. Федотов, П.И. Поспелов, Э.К. Кузахметова, В.Д. Казарновский и др.; Под ред. д-ра техн. наук, проф. Г.А. Федотова; д-ра техн. наук, проф. П.И. Поспелова. – М.: Информавтодор, 2007. – Т. V. – 668 с.
3. Автоматизация проектирования автомобильных дорог / Под ред. Я.В. Хомяка – Киев: Высш. школа, 1987. – 192 с.
4. Бойков В.Н. Сплайны в трассировании автомобильных дорог / В.Н. Бойков, В.М. Шумилов. – Томск: ЦНТИ, 2001. – 164 с.
5. Картанбаев Р.С. Автоматизация сбора исходных данных для проектирования транспортных сооружений / Р.С. Картанбаев, К.К. Алыкулова, Ш.К. Курманова, Р.О. Оралбеков, К.Т. Саткыналиев, Г.В. Укуева. – Бишкек: КГУСТА, 2006. – 304 с.

Получено 14.01.09