

УДК 625.05

**А. Н. Максименко, канд. техн. наук, доц., Д. Ю. Макацария, Е. В. Зезюлина,  
Д. В. Бездников**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКТОВ МАШИН ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

В статье рассматриваются вопросы формирования рациональных комплектов машин при ремонте асфальтобетонных покрытий с учетом экономии строительных материалов и применения современных технологий, апробированных в Западной Европе. Разработан алгоритм эффективного использования техники в зависимости от условий ее использования, экономии материальных и энергетических ресурсов при восстановлении работоспособности асфальтобетонных покрытий и оптимизации технической эксплуатации комплектов машин.

При восстановлении работоспособности автомобильных дорог в Республике Беларусь в настоящее время пользуются традиционным комплектом машин, предназначенным для строительства дорог. Ведущей машиной этого комплекта является асфальтоукладчик, который распределяет и укладывает асфальтобетонную смесь по поверхности ремонтируемого участка дороги, учитывая заданную ширину и толщину его слоя. В качестве комплектующих машин к асфальтоукладчику выбирают автогудронаторы, автосамосвалы и катки. Автогудронаторы предназначены для транспортировки и разлива битума, автосамосвалы – для транспортировки асфальтобетонной смеси с разгрузкой ее в приемный бункер. Катки трех типов – легкий, средний и тяжелый – используются для уплотнения уложенной асфальтобетонной смеси.

Основным преимуществом данного комплекта является наличие используемой техники в дорожно-строительных управлениях Республики Беларусь, наличие квалифицированных операторов, управляющих этой техникой, а также освоенные технологии ее обслуживания и ремонта. При этом большинство используемой техники имеет большую наработку и представляет собой технически устаревшие машины. Проведение работ таким комплектом сопровождается большим потребным количеством дорогостоящей асфальтобетонной смеси, не

использованием существующего материала дорожной одежды, отсутствием в комплекте техники, предназначенной для подготовки асфальтобетонного основания.

Этот процесс восстановления работоспособности дороги связан с расходом завышенного количества нового дорогостоящего материала. Расход материала (в тоннах) на заполнение неровностей дорожного покрытия можно определить следующим образом:

$$m_1 = \alpha \cdot h_k \cdot B \cdot L \cdot \gamma, \quad (1)$$

где  $h_k$  – глубина неровности;  $B$  – ширина дороги;  $L$  – длина дороги;  $\gamma$  – плотность материала;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий неровности дороги, который может быть определен как отношение площади поперечного незаполненного асфальтобетонной смесью сечения дороги, образованной в результате возникновения колеи, к произведению глубины неровности на ширину дороги.

Расход материала (в тоннах) на формирование дополнительного слоя определяется по формуле

$$m_2 = h_1 \cdot B \cdot L \cdot \gamma, \quad (2)$$

где  $h_1$  – высота дополнительного укладываемого слоя асфальтобетонной смеси.

Таким образом, полная высота ук-

ладываемого слоя асфальтобетонной смеси будет определяться из выражения

$$h = h_k + h_1.$$

При применении традиционного комплекта машин расходуется не только завышенное количество дорогостоящей асфальтобетонной смеси, но и возрастают транспортные расходы, что в совокупности увеличивает стоимость работ, проводимых на строительной площадке.

Стоимость дорожного покрытия в этом случае определяется по формуле

$$C'_{\text{дп}} = C'_a + C'_t + C'_{\text{ук}} + C_{\text{уп}}, \quad (3)$$

где  $C'_a$  – стоимость асфальтобетонной смеси, необходимой для восстановления работоспособности участка;  $C'_t$  – затраты на транспортировку материалов на участок;  $C'_{\text{ук}}$  – затраты на укладку;  $C_{\text{уп}}$  – затраты на уплотнение.

В настоящее время в западноевропейских странах широко используются комплекты машин, формирование которых основано на регенерации дорожного покрытия. Эти комплекты начали внедряться в условиях резкого роста цен на энергоресурсы и строительные материалы. Аналогичная ситуация наблюдается в настоящее время в Республике Беларусь, что создает особую предпосылку для поднятия вопросов формирования комплектов машин, предназначенных для восстановления работоспособности автомобильных дорог, на более высокий уровень.

В зависимости от организации работы на строительной площадке и использования техники выделяют комплекты машин, предназначенные для регенерации на заводе и на дороге.

При регенерации на заводе в комплект асфальтоукладчика дополнительно включается дорожная фреза, которая выполняет операции по снятию существующего дорожного покрытия. Использование сфрезерованного материала дорожного покрытия, содержащего в себе вяжущие, и пригото-

вление на его основе свежей асфальтобетонной смеси уменьшает потребное количество некоторых ее компонентов. Экономия асфальтобетонной смеси, необходимой при использовании традиционного комплекта на заполнение неровностей, уменьшает суммарное количество используемых материалов. Снижается потребность в каменном материале и дорогостоящем битуме. Кроме того, в комплекте асфальтоукладчик (регенерация на заводе) комплектующими машинами является автотранспорт и катки необходимых типов. Количество комплектующих машин рассчитывается исходя из значения эксплуатационной производительности ведущей машины и технологических потребностей. Увеличение затрат на транспортировку можно снизить, организовав транспортные операции с учетом доставки попутного груза. Количество фрез определяется исходя из ширины ремонтируемой полосы и производительности.

При этом экономия материалов достигается за счет уменьшения асфальтобетонной смеси, предназначенной для устранения неровностей  $m_1$  и использования сфрезерованного твердого покрытия  $m_2$ . Экономия асфальтобетонной смеси можно определить как сумму  $m_1$  и  $m_2$  по формуле

$$m = \alpha \cdot h_k \cdot B \cdot L \cdot \gamma + (1 - \alpha) \cdot h_k \times \\ \times B \cdot L \cdot \gamma = h_k \cdot B \cdot L \cdot \gamma. \quad (4)$$

Стоимость дорожного покрытия в этом случае определяется по формуле

$$C''_{\text{дп}} = C_{\text{ф}} + C''_a + C''_t + C''_{\text{ук}} + C_{\text{уп}}, \quad (5)$$

где  $C_{\text{ф}}$  – стоимость фрезерования;  $C''_a$  – стоимость асфальтобетонной смеси, необходимой при регенерации на заводе;  $C''_t$  – затраты на транспортировку при регенерации на заводе;  $C''_{\text{ук}}$  – затраты на укладку при регенерации на заводе.

Регенерация на дороге предусмат-

ривает выполнение всех операций по фрезерованию, приготовлению и дальнейшему использованию материалов асфальтобетонного покрытия непосредственно на участке дороги.

Одним из способов осуществления холодной регенерации на дороге является комплект, использующий в качестве машины для регенерации ресайклер, а для укладки верхнего слоя асфальтоукладчик. Комплект ресайклер с асфальтоукладчиком в качестве ведущих машин комплектуется автосамосвалами и катками. Подготовка асфальтобетонного основания осуществляется методом холодной регенерации существующего асфальтобетонного покрытия – ресайклером. Если ремонтируемый участок дороги предназначен для движения с большой интенсивностью, то необходимо устраивать на нем слой дорожной одежды. Ее строительство осуществляется традиционным способом с использованием включенного в комплект асфальтоукладчика уплотнения катками трех типов.

При горячей регенерации асфальтобетона в качестве ведущей машины используется ремиксер, который за один рабочий проход выполняет весь технологический цикл, включающий разогрев существующего покрытия, снятие его, дальнейшую переработку и приготовление с добавлением вяжущих (или нет), распределение и укладку приготовленного материала дорожной одежды с его предварительным уплотнением. Это позволяет снизить потребность в комплектующих машинах по номенклатуре и количеству. Комплект ремиксер (регенерация на дороге) комплектуется автосамосвалами и катками, причем потребность в них сводится лишь к транспортировке дополнительных материалов согласно разработанной рецептуре.

Экономия материала, как и в предыдущем случае, достигается за счет экономии материала, предназначенного для устранения неровностей, и использования старого материала. В данном варианте целесообразно выбирать глубину фрезерования в зависимости от количества материала,

необходимого для восстановления дорожного покрытия с учетом добавления вяжущих и наполнителей.

Оптимальную глубину фрезерования определяют из следующего равенства:

$$h_{\text{ф}} \cdot B \cdot L \cdot \gamma + V_{\text{дм}} = h_1 \cdot B \cdot L \cdot \gamma, \quad (6)$$

где  $V_{\text{дм}}$  – объем материала, добавляемого в соответствии с рецептурой;  $h_{\text{ф}}$  – глубина фрезерования.

Стоимость дорожного покрытия при применении комплекта ремиксер определяется по формуле

$$C_{\text{ДП}}''' = C_{\text{р}} + C_{\text{дм}} + C_{\text{т}}''' + C_{\text{уп}}, \quad (7)$$

где  $C_{\text{р}}$  – стоимость ремиксирования;  $C_{\text{дм}}$  – стоимость дополнительных материалов, необходимых для регенерации на дороге;  $C_{\text{т}}'''$  – затраты на транспортировку для регенерации на дороге.

Комплект ремиксер позволяет производить регенерацию асфальтобетонного покрытия, регенерацию с устройством слоя износа из новой асфальтобетонной смеси; целенаправленно изменять структуру покрытия введением битума и каменных материалов в установленных пропорциях. Причем оба слоя (регенерированный и слой износа) уплотняются сначала виброплитой ремиксера, а затем традиционным способом с использованием катков.

При формировании комплекта ремиксер (с устройством слоя износа) в его состав включается ремиксер в качестве ведущей машины. Комплектующими машинами являются автосамосвалы и катки. Для устройства слоя износа необходимо дополнительное количество асфальтобетонной смеси и связанное с этим увеличение потребного количества автосамосвалов для его транспортировки и разгрузки в приемный бункер ремиксера. Новый слой износа укладывается непосредственно на горячее основание, что обеспечивается рациональным расположением рабочих

органов ремиксера. Уплотнение обоих слоев осуществляется традиционным способом с использованием катков.

Постоянно растущие нагрузки со стороны движущегося транспорта на дорожное полотно предполагают увеличение его прочности. Применение комплекта ремиксер (ремикс-плюс) позволяет восстанавливать работоспособность автомобильной дороги с изменением ее структуры, при этом одновременно укладывается дополнительный слой износа. Ведущей машиной комплекта является ремиксер. В качестве комплектующих машин в соответствии с технологической потребностью в комплект необходимо включить щебнераспределитель, разогревательные машины, автотранспорт и катки. Щебнераспределитель предназначен для распределения каменного материала по поверхности ремонтируемого участка дороги в количестве, соответствующем рецептуре. Для разогрева материала ремонтируемого участка на всю его глубину перед фрезерованием используют две разогревательные машины. Операции, связанные со снятием, переработкой, приготовлением, распределением с укладкой и предварительным уплотнением основного слоя и слоя износа выполняются за один рабочий проход ремиксера. Окончательное уплотнение выполняется катками трех типов.

Целесообразность применения рассматриваемых комплектов определяется на основе расчета конструкции асфальтобетонного покрытия под перспективную нагрузку и условиями их эксплуатации (учитываются температура окружающей среды, дальность и дорожные условия для транспортировки материалов на объект). Использование комплекта ремиксер обеспечивает высокое качество за счет оптимальной температуры уплотнения при любой температуре окружающей среды и образования единого несущего слоя асфальтобетонного покрытия.

Формирование комплектов машин является трудоемким процессом, осуществление которого связано не только с исполь-

зованием машин существующего парка, но и приобретением дорогостоящей техники, производимой как в Республике Беларусь, так и за ее пределами. Для формирования комплектов машин при восстановлении работоспособности автомобильных дорог был разработан алгоритм (рис. 1), позволяющий определять оптимальные комплекты.

В качестве исходных данных при формировании комплектов машин являются: состав имеющегося парка машин, объем выполняемых работ за рассматриваемый период  $T$ , стоимость единицы выполняемых работ  $C_t$ , время эксплуатации машин  $t$ , условия выполнения работ. Затем рассматриваются существующие технологии восстановления работоспособности автомобильных дорог. Их число определяется количеством сравниваемых комплектов машин. Далее по каждой используемой технологии проводится выбор ведущей машины и формирование комплектов для выполнения заданного объема работ. На следующем этапе определяется оптимальный комплект с учетом экономики материальных ресурсов.

Комплект машин, обладающий наименьшими удельными приведенными затратами, будет оптимальным. На основе потребного количества машин оптимального парка, используя имеющийся парк машин, а при отсутствии в нем техники, предусмотренной технологическим процессом, приобретая ее, формируют оптимальный комплект машин. Приобретение новой техники всегда связано с дополнительными финансовыми вложениями, а в условиях ограниченной номенклатуры отечественных машин большинство из них приходится закупать за границей. В условиях ограниченного финансирования приобретать данную технику в собственность становится затруднительно, в связи с чем в алгоритме предусмотрено взятие техники в аренду через финансовый или оперативный лизинг.

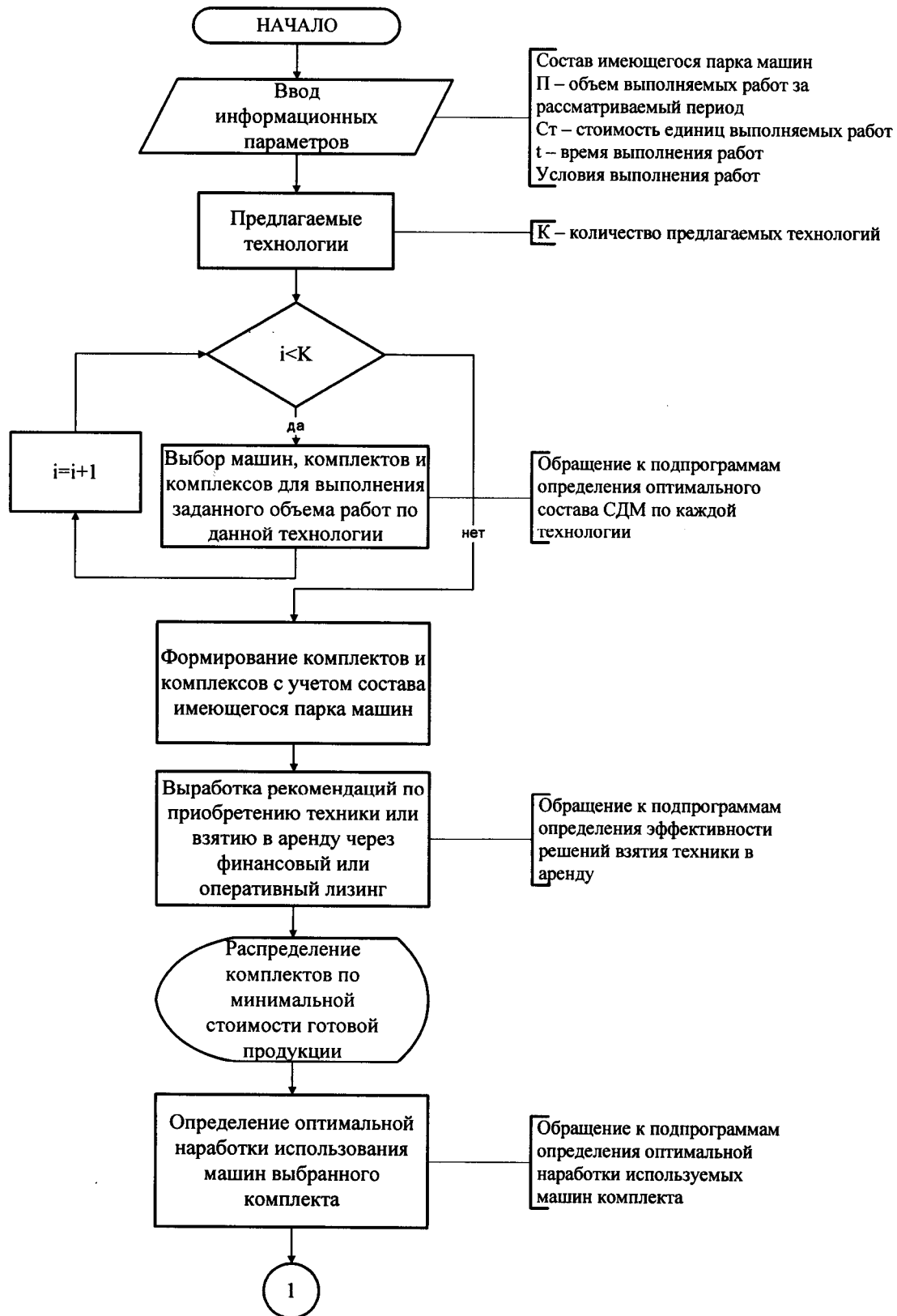
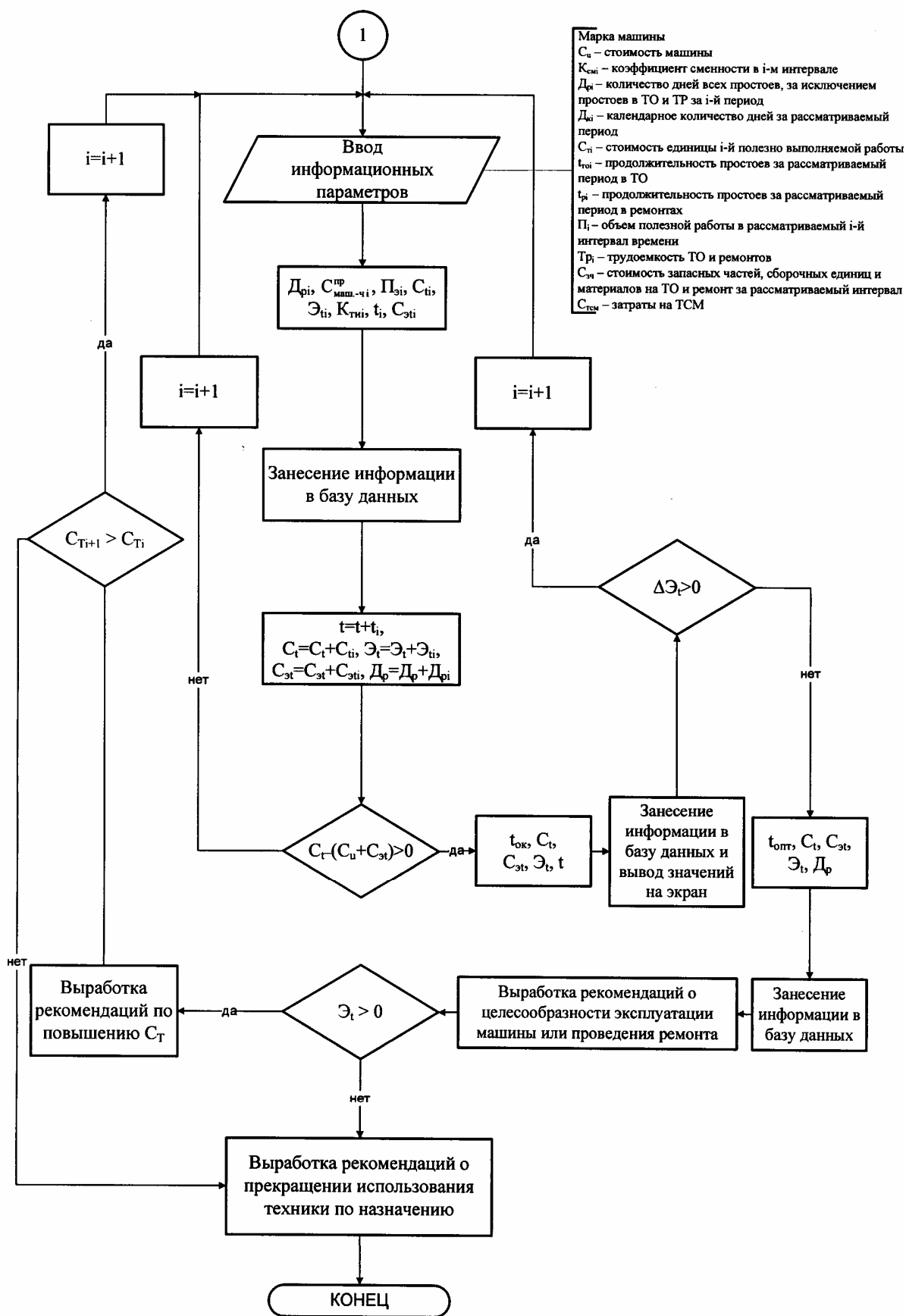


Рис. 1. Алгоритм формирования комплектов машин и определения их рациональной наработки:  $\mathcal{E}_i$  – значение суммарного экономического эффекта;  $C_i$  – стоимость полезно выполняемой работы машины;  $C_{тi}$  – стоимость технической эксплуатации машины;  $P_i$  – часовая эксплуатационная производительность;  $C_{маш.-ч}^{пр}$  – приведенные эксплуатационные затраты машины в течение 1 маш.-ч;  $K_{тi}$  – коэффициент технического использования;  $t_{ок}$  – период окупаемости;  $D_{pi}$  – количество дней нахождения машины в работе;  $t_i$  – количество рабочего времени



Окончание рис. 1

На следующем этапе работы алгоритма для каждой машины определяются и заносятся в базу данных основные технические показатели, используя которые можно определить экономический эффект от ее эксплуатации. При уменьшении экономического эффекта предусматривается выработка рекомендаций о целесообразности эксплуатации машины или проведения ремонта. В случае прекращения использования машины на ее место становится новая, более эффективная. По сформированному комплексу машин создается база данных, которая помогает оптимизировать техническую эксплуатацию с учетом объема полезно выполняемой работы и эксплуатационных затрат.

При обеспечении необходимого качества дорожного покрытия и равного потребного количества используемых материалов рациональная область применения рассматриваемых комплектов определяется меньшим значением удельных затрат на единицу полезно выполняемой работы, а граничные условия – их равенством. Целесообразность применения рассматриваемых шести комплектов машин при разном потребном количестве строительных материалов должна определяться с учетом минимальной стоимости единицы восстановления работоспособности асфальтобетонного покрытия. Анализ составляющих расходов восстановления работоспособности асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги протяженностью 1 км и шириной 3,75 м показал, что при традиционной технологии расходы на материалы составляют от 64 до 97 % при изменении дальности транспортировки асфальтобетона от 90 до 3 км, а транспортные расходы соответственно изменяются от 35 до 2 %. В этих условиях основным показателем рационального использования комплектов машин является экономия материалов и снижение транспортных расходов при обеспечении необходимого качества по допустимой нагрузке на одну ось транспортных средств и ресурса дорожного покрытия.

Максимальная экономия материалов происходит при регенерации асфальтобетонного покрытия. На рис. 2 приведены

данные по стоимости при восстановлении работоспособности асфальтобетонного покрытия с дальностью транспортировки материалов 20 км.

Стоимость единицы восстановленного дорожного покрытия для рассматриваемых комплектов машин изменяется в 3 раза. Причем это отношение увеличивается с ростом дальности транспортировки строительных материалов. Составляющие затрат для каждого комплекта в рассматриваемых условиях изменяются в значительных пределах. Анализ диаграмм позволяет выявить основные направления по снижению затрат на восстановление работоспособности асфальтобетонного покрытия для всех рассматриваемых комплектов. Так, для комплекта асфальтоукладчик с традиционной технологией 88 % от всех затрат составляет стоимость асфальтобетона и только 12 % составляют расходы на транспорт, укладку и уплотнение смеси. Поэтому при использовании этого комплекта основным направлением по снижению затрат на восстановление работоспособности дорожного покрытия является совершенствование технологии приготовления асфальтобетона. Для комплекта ремиксер с регенерацией асфальтобетонного покрытия без устройства слоя износа основные затраты связаны с приобретением и эксплуатацией ремиксера (67 %). Это связано с высокой его стоимостью. Для снижения стоимости восстановления дорожного покрытия важно максимально использовать ремиксер по времени. При рассмотрении горячей регенерации асфальтобетонного покрытия на дороге (комплект ремиксер) и на заводе (комплект асфальтоукладчик) важно учитывать два фактора – более низкие затраты на приготовление асфальтобетонной смеси на заводе и более низкие транспортные расходы для комплекта ремиксер. В зависимости от соотношения этих затрат определяются и граничные условия целесообразности применения сравниваемых комплектов.

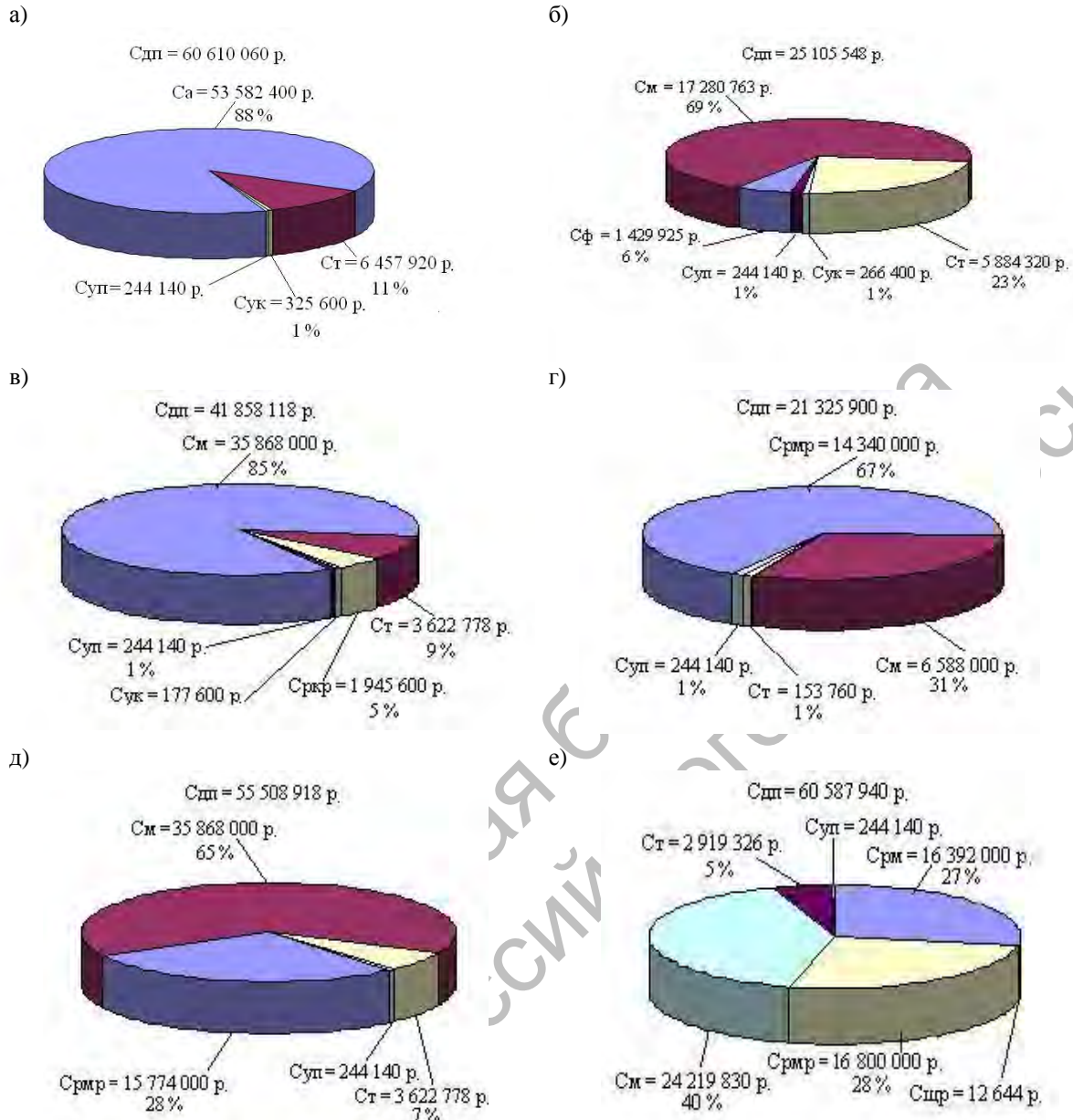


Рис. 2. Диаграммы составляющих стоимости ремонта 1 км твердого покрытия дороги, используя комплект: а – асфальтоукладчик (традиционная технология); б – асфальтоукладчик (регенерация на заводе); в – ресайклер с асфальтоукладчиком; г – ремиксер (регенерация на дороге); д – ремиксер (с устройством слоя износа); е – ремиксер (технология ремикс плюс); С<sub>дп</sub> – стоимость ремонта 1 км твердого покрытия; С<sub>а</sub> – стоимость асфальтобетонной смеси; С<sub>т</sub> – затраты на транспортировку; С<sub>ук</sub> – затраты на укладку; С<sub>уп</sub> – затраты на уплотнение; С<sub>м</sub> – стоимость материалов; С<sub>ф</sub> – затраты на фрезерование; С<sub>ркр</sub> – затраты на ресайклер; С<sub>ркр</sub> – затраты на ремиксер; С<sub>рм</sub> – затраты на разогревательную машину; С<sub>щр</sub> – затраты на щебнераспределитель

Рассматривая зависимости стоимости приготовления 1 т асфальтобетонной смеси и ее транспортирование для различных дорожных условий, можно сделать вывод о возможности использования комплекта асфальтоукладчика при регенерации дорож-

ного покрытия. При этом расстояние участка от асфальтобетонного завода должно быть не более 14 км при транспортировании по дороге первой группы, и не более 11 км – при транспортировании по дороге второй группы (рис. 3).



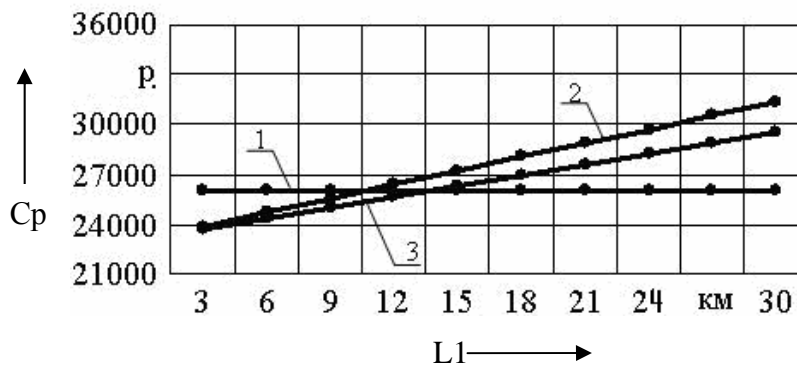


Рис. 3. Граничные условия применения комплектов машин: 1 – регенерация на дороге; 2 и 3 – регенерация на заводе при транспортировке материалов по дороге второй и первой группы соответственно

Значительное повышение качества (ресурс увеличивается в 2 раза) восстановленного дорожного покрытия с изменением структуры покрытия и нанесения слоя износа происходит при реализации комплектом ремиксер технологии ремикс-плюс. Высокое качество обеспечивается оптимальным температурным режимом уплотнения и единым восприятием на-

грузки по всей глубине восстанавливаемого слоя. Сравнение комплектов ремиксер (технология ремикс-плюс) и асфальтоукладчик (традиционная технология) позволяет определить граничные условия их применения с учетом дальности транспортировки материалов по дорогам первой группы (рис. 4).

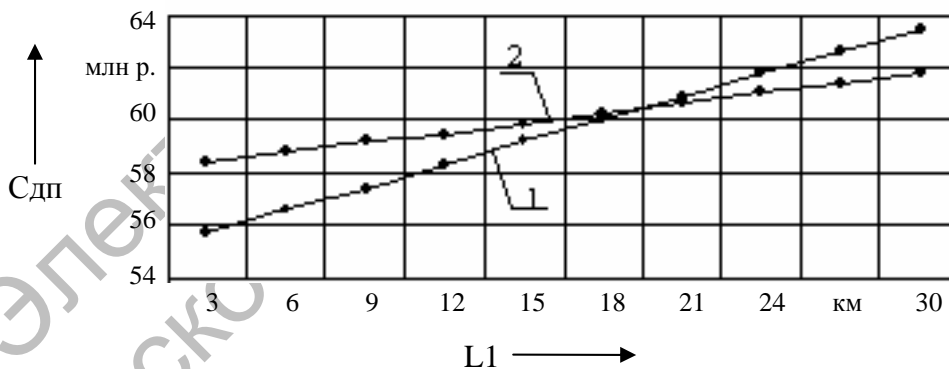


Рис. 4. Граничные условия применения комплектов машин: 1 – асфальтоукладчик (традиционная технология); 2 – ремиксер (технология ремикс-плюс)

Для максимальной дальности (90 км) разница стоимости восстановления работоспособности асфальтобетонного покрытия составляет более 12 млн р.

Здесь все затраты, за исключением транспортных расходов, практически соизмеримы. Потребность в транспортировании материалов для комплекта асфальто-

укладчика выше в 2,2 раза (см. рис. 2), что значительно увеличивает общую стоимость восстановления дорожного покрытия традиционным методом. С увеличением дальности и снижением качества дорожных условий транспортировки материалов этот разрыв увеличивается.

Использование комплектов с регенерацией асфальтобетонного покрытия обеспечивает значительную экономию каменных и вяжущих материалов и позволяет обеспечить необходимое качество при любых условиях окружающей среды в сезон за счет поддержания оптимальной температуры уплотнения восстанавливаемого покрытия, т. к. оно является важнейшим фактором структурообразования асфальтобетона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Максименко, А. Н.** Эксплуатация строительных и дорожных машин : учеб. пособие / А. Н. Максименко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 400 с. : ил.
2. **Исаков, В. С.** Особенности конструкций и повышение эффективности использования машин и роботов для укладки и содержания дорожных покрытий : учеб. пособие / В. С. Исаков,

И. Г. Булгакова, Н. П. Чухряев. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2006. – 260 с.

3. Программа «Дороги Беларуси» на 2006–2015 гг. – Минск : Белавтодор, 2006. – 48 с.

4. **Кравченко, С. Е.** Влияние температуры формирования структуры на прочностные свойства асфальтобетона / С. Е. Кравченко, Д. Г. Игошкин // Строительная наука и техника. – 2007. – № 2 (11). – С. 37–41.

5. **Кудрявцев, Е. М.** Комплексная механизация строительства / Е. М. Кудрявцев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Ассоциация строительных вузов, 2005. – 424 с. : ил.

6. Планирование строительного производства с учетом наработки применяемых машин и использованием информационных технологий / А. Н. Максименко [и др.] // Строительная наука и техника. – 2007. – № 2 (11). – С. 42–49.

7. Влияние наработки с начала эксплуатации на эффективность использования строительных и дорожных машин / А. Н. Максименко [и др.] // Строительная наука и техника. – 2007. – № 6 (15). – С. 73–77.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 14.01.2008

**A.N. Maksimenko, D.Y. Makazarija,  
E.V. Zezjulina, D.V. Bezdnikov**  
**Definition of boundary conditions of use  
of complete sets of machines at restoration  
of serviceability of asphalt of coverings**

The questions of formation of rational complete sets of machines at repair of asphalt coverings in view of economy of building materials and application of modern technologies tested in Western Europe are considered in the article. The algorithm of an effective utilization of engineering depending on conditions of its use, economy material and power resources at restoration of serviceability of asphalt coverings and optimization of technical operation of complete sets of machines has been developed.