

Вместе с этим, следует констатировать, что влияние углов наблюдения на значение яркостного контраста в вертикальной плоскости более значительное, что, очевидно, обусловлено принятой разработчиками ЖК технологией изготовления матрицы (альбомная или книжная рабочая ориентация матрицы).

Следует также заметить, что представленные на рис. 3, 4 и в таблице характеристики изображения являются светотехническими характеристиками не столько самих ЖК-матриц, сколько изделия (МФЦИ) в целом, так как измерения производились в составе образцов МФЦИ с учетом примененных разработчиками МФЦИ антибликовых покрытий, наносимых на ЖК-матрицу, или с учетом стекла подогревателя, который может быть конструктивно размещен [3] непосредственно перед ЖК-матрицей.

Литература

1. *Дмитриев, В.* OLED-дисплеи – будущее уже начинается / В. Дмитриев // Компоненты и технологии. – 2003. – № 6. – С. 62 – 66.
2. *Дятлов, В.М.* Разработка технических решений по разработке торцевого модуля задней подсветки / В.М. Дятлов // Военная электроника и электротехника: Труды XXII ЦНИИИ Минобороны России. – 2010. – Вып. 62. – С. 280 – 291.
3. *Дятлов, В.М.* Разработка и исследование конструкции стеклопакета жидкокристаллического экрана / В.М. Дятлов // Военная электроника и электротехника: Труды XXII ЦНИИИ Минобороны России. – 2010. – Вып. 62. – С. 270 – 279.
4. *Жаринов, И.О.* Бортовые средства отображения информации на плоских жидкокристаллических панелях / И.О. Жаринов, О.О. Жаринов // Информационно-управляющие системы. – СПб, 2005.
5. *Жданов, В.* Передовые технологии фирмы Sharp в изготовлении ЖК-дисплеев для различных применений / В. Жданов // Современная электроника. – 2006. – № 1. – С. 14 – 19.
6. *Книга, Е.В.* Принципы организации перспективных бортовых цифровых вычислительных систем в авионике / [Е.В. Книга и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 2. – С. 163 – 165.

7. *Костишин, М.О.* Оценка точности визуализации местоположения объекта в геоинформационных системах и системах индикации навигационных комплексов пилотируемых летательных аппаратов / [М.О. Костишин и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 1. – С. 130 – 137.

8. *Парамонов, П.П.* Принципы построения отраслевой системы автоматизированного проектирования в авиационном приборостроении / П.П. Парамонов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 6 (82). – С. 111 – 117.

9. *Парамонов, П.П.* Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении / П.П. Парамонов, И.О. Жаринов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 2 (84). – С. 1 – 17.

10. *Парамонов, П.П.* Теория и практика статистического анализа картографических изображений в системах навигации пилотируемых летательных аппаратов / П.П. Парамонов, Ю.А. Ильченко, И.О. Жаринов // Датчики и системы. – 2001. – № 8. – С. 15 – 19.

11. *Парамонов, П.П.* Структурный анализ и синтез графических изображений на экранах современных средств бортовой индикации на плоских жидкокристаллических панелях / [П.П. Парамонов и др.] // Авиакосмическое приборостроение. – 2004. – № 5. – С. 50 – 57.

12. *Парамонов, П.П.* Реализация структуры данных, используемых при формировании индикационного кадра в бортовых системах картографической информации / [П.П. Парамонов и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 2 (84). – С. 165 – 167.

13. *Парамонов, П.П.* Многофункциональные индикаторы на плоских жидкокристаллических панелях: наукоемкие аппаратно-программные решения / [П.П. Парамонов и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2004. – № 3. (14). – С. 238 – 245.

14. *Парамонов, П.П.* Принцип формирования и отображения массива геоинформационных данных на экран средств бортовой индикации / [П.П. Парамонов и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 6. – С. 136 – 142.

15. *Сомарин, А.* Модули ЖК-дисплеев для авионики / А. Сомарин // Компоненты и технологии. – 2005. – № 3. – С. 56 – 62.

УДК 669.02/09

А.Л. Кузьминов, А.В. Голубев

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПО ПАУКООБРАЗНЫМ ТРЕЩИНАМ И ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИВКИ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

В статье рассмотрены закономерности между показателями качества поверхности непрерывного слитка и теплотехническими показателями работы кристаллизатора, технологическими параметрами и химическим составом разливаемой стали.

Непрерывная разливка стали, кристаллизатор, качество поверхности слитка, паукообразные трещины.

Regularities between the indicators of the quality of the surface of a continuous ingot and thermal engineering indicators of work of a crystallizer as well as the technological parameters and the chemical composition of the cast steel are considered in the article.

Continuous pouring of steel, crystallizer, quality of the surface of an ingot, spider-like cracks.

Процессы формирования качества слитков стали отличаются инерционностью [2], а практически все измеряемые характеристики являются не функциями, а функционалами технологических и теплофизических параметров. Была поставлена задача методами теории случайных процессов и дисперсионного анализа проанализировать формирование качества металла во времени, описать изменение состояния поверхности слитка при прохождении отдельных участков МНЛЗ вдоль технологической оси. Использование этой информации обеспечит повышение и стабильность качества, оптимизацию технологии разлива и, в частности, позволит разработать инструкции по выходу из нестандартных и аварийных ситуаций.

В данной работе ограничивались стандартным статистическим исследованием зависимостей между усредненными по плавкам технологическими параметрами и характеристикой качества поверхности. В ходе статистического анализа рассматривались:

1.1. Процент бракованных слабов по паукообразным трещинам (по змейке) – «А».

1.2. Характеризующий образование трещин, нормально распределенный «скрытый» параметр $Y = \Phi(0,001 \times B)$, где

$$\Phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{u^2}{2}} du;$$

1.3. Дихотомическая характеристика брака

$$\Gamma(B) = \begin{cases} 1, & \text{если } B > 0 \\ 0, & \text{если } B = 0. \end{cases}$$

2. Скорость разлива.

3. Расход воды на охлаждение стенки кристаллизатора.

4.1. – 4.3. Температура в проковше (результаты трех замеров по ходу разлива).

5.1. – 5.12. Химический состав металла в проковше, а именно содержание в стали С, Si, Mn, Cr, Ni, Cu, P, S, Al, Nb, Ti и Mo.

6. Комбинации тепловых потоков и температуры точек на стенках кристаллизатора, рассчитанные по показаниям термопар, установленных в определенных точках корпуса кристаллизатора [2]:

6.1. Температура середины торцевой стенки кристаллизатора Т1 в 190 мм от верха медных пластин.

6.2. Температура в точке вблизи угла Т2 в 190 мм от верха медных пластин кристаллизатора.

6.3. Температура середины широкой стенки Т3 в 190 мм от верха медных пластин.

6.4. Температура середины большой стенки Т4 в 360 мм от верха медных пластин.

6.5. Температура середины большой стенки Т5 в 690 мм от верха медных пластин.

6.6. Разность температур Т3-Т1.

6.7. Отношение (Т3-Т1)/Т3.

6.8. Отношение (Т3-Т1)/Т4.

Статистический анализ начинали с расчета среднего значения, дисперсии и средних квадратичных отклонений каждого параметра и коэффициентов корреляции между параметрами. Для расчетов использовали программу **STATISTICA for Windows** разработки StatSoft, Inc. (WEB: <https://www.statsoft.com>).

Статистический анализ изменения химического состава для стали 17 Г1С показал, что для него характерны значительные колебания по содержанию основных компонентов. В результате анализа установлено, что с показателем брака по паукообразным трещинам хорошо коррелируют средние температуры Т1 и Т2, содержание углерода, кремния, марганца, ниобия, титана. Также установлено, что брак резко растет с уменьшением разности температур середины узкой и широкой стенок на уровне 190 мм от верха медных стенок – $DT = T3 - T1$. Малая величина разности (Т3 – Т1) свидетельствует об интенсивном перемешивании жидкого металла. Увеличение тепловых потоков и уменьшение (Т3 – Т1) тесно связаны с химическим составом. Коэффициент корреляции составляет $R = -0,528$. Этим объясняется малое количество трещин на слабках из стали 17Г1СУ (по сравнению с 17Г1С). Но химический состав, определяющий вязкость и поверхностное натяжение жидкой стали, – только одна из причин трещинообразования. Причина брака связана с механическим и физико-химическим взаимодействием жидкого металла с неустойчивыми кластерами твердой фазы, формируемыми на поверхности слитка в верхней зоне кристаллизатора.

Получено уравнение множественной регрессии устанавливающее влияние на брак химического состава разливаемой стали.

$$y = 77,391 - 85,731 \cdot x_1 - 13,134 \cdot x_2 - 23,084 \cdot x_3 - 54,498 \cdot x_4 - 850,624 \cdot x_5 - 560,179 \cdot x_6,$$

где $x_1 - [C]$; $x_2 - [Si]$; $x_3 - [Mn]$; $x_4 - [Cr]$; $x_5 - [Nb]$; $x_6 - [Ti]$.

Сравнение фактического и расчетного процента пораженности слабков паукообразными трещинами, полученное по уравнению регрессии, представлено на рис. 1. При анализе влияния химического состава отмечено, что наименьшую пораженность паукообразными трещинами имеет марка стали 17Г1СУ.

Также получено уравнение множественной регрессии для перепада температур, средних температур стенок кристаллизатора и расхода воды:

$$y = 570,76 + 0,047 \cdot x_1 + 0,501 \cdot x_2 - 0,033 \cdot x_3 - 0,246 \cdot x_4 - 0,247 \cdot x_5 - 0,389 \cdot x_6 + 0,019 \cdot x_7,$$

где x_1 – средняя температура узкой стенки кристаллизатора (центр), °С; x_2 – средняя температура узкой стенки кристаллизатора (угол), °С; x_3 – сред-

ная температура широкой стенки кристаллизатора (центр/верх), °C; x_4 – средняя температура широкой стенки кристаллизатора (центр/серед.), °C; x_5 – перепад температур по центрам широкой и узкой стенки кристаллизатора, °C; x_6 – температура в промежуточном ковше, второй замер, °C; x_7 – расход воды, м³/ч.

Сравнение расчетного и фактического процента пораженности слябов паукообразными трещинами представлено на рис. 2.

Получено уравнение множественной регрессии для всех факторов (перепадов температур, средних температур стенок кристаллизатора, химического состава и расхода воды):

$$y = 503,595 + 0,050 \cdot x_1 + 0,353 \cdot x_2 + 0,028 \cdot x_3 - 0,367 \cdot x_4 - 0,315 \cdot x_5 - 0,130 \cdot x_6 - 0,289 \cdot x_7 - 0,026 \cdot x_8 - 19,183 \cdot x_9 + 3,207 \cdot x_{10} - 25,428 \cdot x_{11} - 39,887 \cdot x_{12} - 279,765 \cdot x_{13} - 235,748 \cdot x_{14},$$

где x_1 – средняя температура узкой стенки кристаллизатора (центр), °C; x_2 – средняя температура узкой стенки кристаллизатора (угол), °C; x_3 – средняя температура широкой стенки кристаллизатора (центр/верх), °C; x_4 – средняя температура широкой стенки кристаллизатора (центр/серед.), °C; x_5 – перепад температур по центрам широкой и узкой стенки кристаллизатора, °C; x_6 – перепад температур по центрам широкой и узкой стенки кристаллизатора, °C; x_7 – температура в промежуточном ковше, второй замер, °C; x_8 – расход воды, м³/ч; x_9 – [C];

x_{10} – [Si]; x_{11} – [Mn]; x_{12} – [Cr]; x_{13} – [Nb]; x_{14} – [Ti].

Сравнение процента пораженности слябов паукообразными трещинами расчетного и фактического представлено на рис. 3.

Для формирования прогноза предложено несколько регрессионных зависимостей математического ожидания брака.

$$R = 0,72;$$

$$B \approx 434 - 139,1 \cdot [C] + 125,7 \cdot [Si] -$$

$$- 160,9 \cdot [Mn] + 1,58 \cdot T_2 - 3,88 \cdot (T_3 - T_1);$$

$$\eta \approx 0,81;$$

$$B \approx 100 \cdot \Phi(3,8 - 0,27 \cdot [Mn] - 0,2 \cdot [C] - 0,49 \cdot (T_3 - T_1));$$

$$\eta \approx 0,2; \quad B \approx 100 \cdot \Phi(3,8 - 0,55 \cdot (T_3 - T_1)) \pm 24 \%;$$

$$\eta \approx 0,59;$$

$$B \approx 100 \cdot \Phi(3,71 - 0,79 \cdot (T_3 - T_1) / T_3) \pm 20 \%;$$

$$\text{где } \Phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{u^2}{2}} du.$$

Та же корреляция будет между технологическим вектором $\vec{X} = \{X_1, X_2, \dots\}$ и интегралом ошибок

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-u^2} du, \quad \text{но разумеется, коэффициенты}$$

$Z = L(\vec{X})$ будут другими. Напомним, что коэффициенты линейной регрессии совпадают с четными производными:

$$A_p = \frac{\partial}{\partial X_p} Y(X_i = \bar{X}_i, \forall i: i \neq p).$$

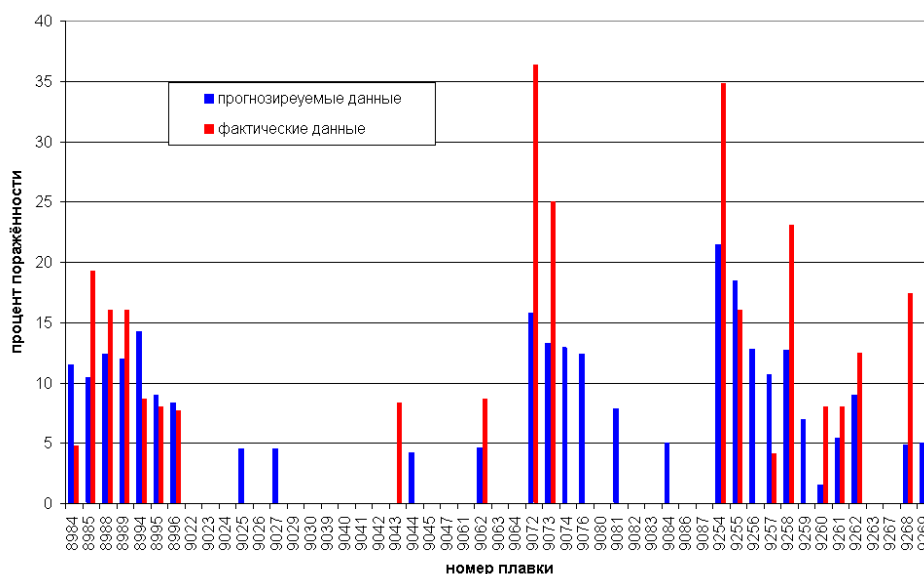


Рис. 1. Сравнение фактического и расчетного значения пораженности слябов трещинами для стали 17Г1С (от химического состава)

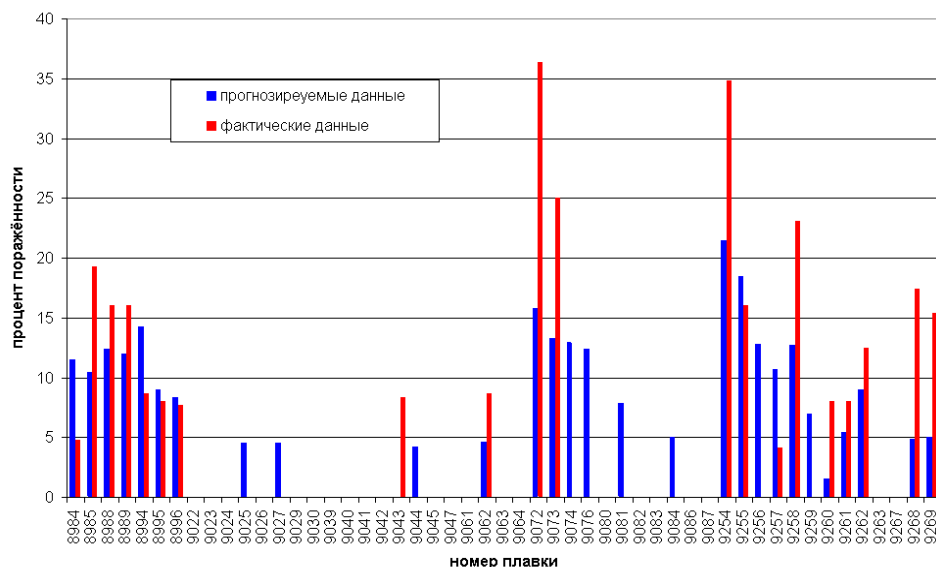


Рис. 2. Сравнение фактического и расчетного значения пораженности слябов стали 17Г1С (от температур)

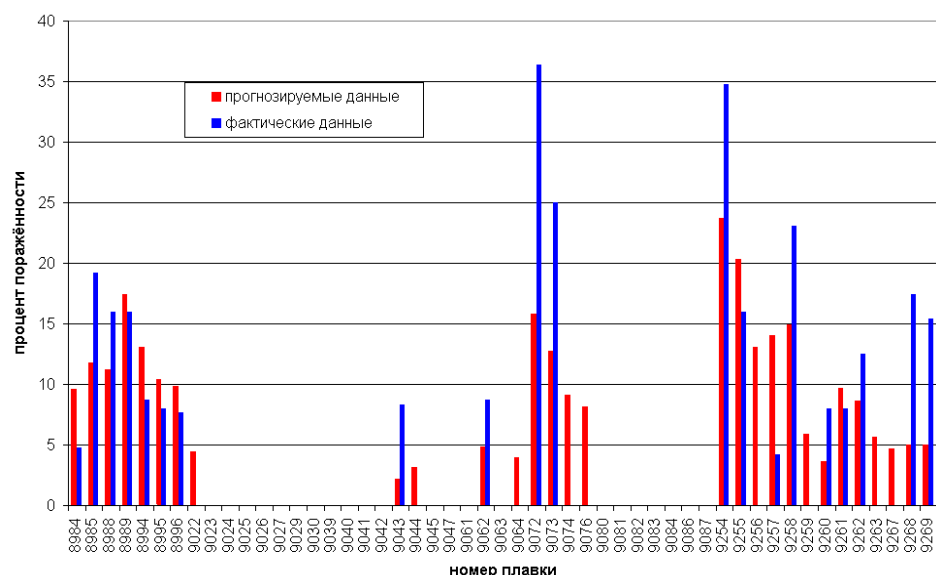


Рис. 3. Сравнение фактического и расчетного значения пораженности слябов трещинами для стали 17Г1С (по всем факторам)

Коэффициенты корреляции R и r и корреляционное отношение η выражается через дисперсию ошибки в определении $\bar{Y}$, в данном случае брака

$$(Y = Б): R = \sqrt{1 - \frac{D_{y/L(\bar{X})}}{D_y}}, \quad \eta = \sqrt{1 - \frac{D_{y/f(\bar{X})}}{D_y}},$$

где

$$D_{y/L(\bar{X})} = \sigma^2 y_{/L(\bar{X})} = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (Y_k - B - A_1 X_{1k} - A_2 X_{2k} - \dots)^2$$

$$D_{y/f(\bar{X})} = \sigma^2 y_{/f(\bar{X})} = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (Y_k - f(X_{1k}, X_{2k}, \dots))^2$$

$$D_y = \sigma^2 y = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (Y_k - \bar{Y})^2$$

Таким образом, из результатов статистического анализа установлено, что для снижения брака по паукообразным трещинам следует:

1. По возможности заменить сталь 17Г1С на 17Г1СУ.
2. В сталях 17Г1С и 10Г2ФБЮ увеличить содержание Mn до пределов, допускаемых ГОСТом.
3. Увеличить разницу в расходах воды на охлаждение узких и широких стенок кристаллизатора.

4. Принять возможные меры по уменьшению горизонтальных и радиальных потоков металла в жидкой фазе, уменьшить горизонтальные составляющие импульса струи.

5. Следует строго контролировать направление оси стакана.

6. Рассмотреть такие радикальные меры, как изменение количества шлакообразующих смесей в кристаллизаторе, изменение высоты промковша с целью большего затопления струи, увеличение диаметра разливочного стакана для дробления струи и снижения ее импульса и т.д.

Литература

1. Кузьминов, А.Л. Прогнозирование качества непрерывнолитого слитка на основе контроля тепловых параметров работы кристаллизатора МНЛЗ / А.Л. Кузьминов, А.В. Голубев, Д.В. Туманов // Материалы Международной I научно-технической конференции «Научно-технический прогресс в металлургии». – Череповец, 2013. – С. 198 – 204.

2. Kuz'minov, A.L. Improving a system for the secondary cooling of continuous-cast semifinished products on the basis of information on the actual thermal state of the ingot / A.L. Kuz'minov, A.V. Golubev, N.A. Shchegolev // Metallurgist. – 2009. – March. – V. 53. – Issue 3–4. – P. 209 – 214.

УДК 625.855.3

А.В. Маконков, А.Л. Кузьмина, М.Ю. Белозор

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСФАЛЬТОГРАНУЛОБЕТОННОЙ СМЕСИ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ РЕГЕНЕРАЦИИ

В статье рассматривается исследование свойств асфальтогранулобетонной смеси и оценка экономического эффекта от применения регенерированного асфальтобетонна. Исследования проводились на базе лаборатории асфальтобетонного завода ПК «Асфальт».

Асфальтобетонное покрытие, асфальтовый гранулят, горячая регенерация.

The article deals with studying the properties of the granulated asphalt concrete mixture and assessing the economic effect of the use of regenerated asphalt concrete. The study was conducted at the laboratory of the asphalt plant PC "Asphalt".

Asphalt concrete pavement, asphalt granulate, hot regeneration.

Асфальтобетонные покрытия являются основным типом покрытий автомобильных дорог и городских улиц с интенсивным движением транспортных средств. Широкое применение объясняется рядом преимуществ по отношению к другим видам покрытий, таких как: относительная дешевизна строительства, ровность и прочность покрытия, высокий коэффициент сцепления шин с дорогой и др. [7].

Важность строительства качественного и надежного дорожного покрытия состоит в обеспечении комфортного и безопасного движения автомобильного транспорта. Однако в процессе эксплуатации асфальтобетонное покрытие находится под воздействием различных факторов, в результате которых происходят необратимые изменения свойств и структуры асфальтобетона в слое покрытия, снижающие его долговечность.

Важнейшей характеристикой дорожных асфальтобетонных покрытий является долговечность – это время, в течение которого покрытие сохраняет свои основные эксплуатационные свойства на уровне, удовлетворяющем требованиям нормативно-технической документации. Проектную долговечность необходимо учитывать при конструировании дорожной одежды, разработке новых технологий приготовления асфальтобетонных смесей, проектировании их составов, применении модифицирующих добавок в процессе получения смесей с целью улучшения их

качества. В большинстве случаев долговечность асфальтобетонного покрытия является главным критерием при выборе составов асфальтобетонных смесей, технологий их приготовления и применения [5].

Сегодня в России и, в частности, в нашем регионе, остро стоит проблема экономии денежных средств и энергоресурсов. В этой связи особое значение приобретает разработка новых строительных материалов на основе техногенных отходов, экономическая эффективность которых существенно возрастает при использовании децентрализованного накопления отходов. Производство строительных материалов является наиболее выгодной отраслью потребления не только природного сырья, но и техногенных отходов. Поэтому необходимо внедрять методы удешевления ремонта дорог. Одним из таких методов является горячий ресайклинг.

Суть метода заключается во вторичном использовании асфальтового гранулята, который получается путем фрезерования асфальтобетонного покрытия при реконструкции автомобильных дорог. Данный метод позволяет использовать гранулят как вторичное сырье при реконструкции асфальтобетонной дороги. Асфальтовым гранулятом является измельченный старый верхний слой дорожного покрытия или, так называемый, слой износа.

В настоящее время при ремонте и реконструкции автодорог снимаемый асфальтовый гранулят являет-