

## **РАСЧЕТ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН УГЛЕРОДНОЙ ТКАНЬЮ**

**Лесовик Р.В., д-р техн. наук, профессор,**

**Клюев С.В., канд. техн. наук, доцент**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Научно-технический прогресс связан с производством и широким применением в строительстве новых материалов с эффективными механическими свойствами. К числу прогрессивных композиционных материалов относятся полимеры, армированные волокнами. Их широкое распространение обусловлено наличием ряда преимущественных свойств, касающихся прочности, веса, стоимости. Использование прогрессивных композиционных материалов будет одним из важнейших и эффективных направлений в строительстве вследствие нарастающего объема сооружений с изменяющимися функциями и необходимостью обеспечения новых функциональных требований при реконструкции зданий.

Использование прогрессивных композиционных материалов для усиления элементов конструкций оказалось конкурентоспособным решением проблемы их качества в смысле обеспечения надежности и долговечности сооружения. Они применяются как внутренняя арматура (фибры и стержни в бетоне) и как внешняя арматура (пластинки и оболочки).

Применение прогрессивных композиционных материалов позволяет создавать конструкции с высокими техническими и экономическими характеристиками. Перспективной областью исследования является их использование при проектировании и усилении бетонных и железобетонных конструкций.

Одним из представителей прогрессивных композитов является композит на основе углеродного волокна. Экспериментальное исследование его прочностных и деформативных качеств проводилось стандартными методами как для отдельного материала. Мало внимания уделялось его взаимодействию с другими материалами в конструкциях. Это касается как бетонных колонн, ограниченных трубой из углеродных волокон, так и бетонных и железобетонных элементов с полосой из композитов на основе углеволокна в растянутой зоне. Представляются актуальными экспериментальные и теоретические исследования в этом направлении.

В России использование прогрессивных композиционных материалов будет одним из важнейших и эффективных направлений в строительстве вследствие нарастающего объема сооружений с изменившимися функциями и необходимостью увеличения числа этажей при реконструкции имеющихся зданий.

Развитие промышленного производства углеродных волокон привело к применению углепластиков в других отраслях техники и, в частности, для усиления строительных конструкций. Новая технология применялась для пролетных строений и опор мостов, для резервуаров и дымовых труб для причальных сооружений, для балок, колонн и перекрытий зданий разного назначения. В последние годы они используются для восстановления несущей способности кирпичной и каменной кладки, а также деревянных конструкций.

Композитные материалы, армированные стеклотканью, углеродными или арамидными волокнами, могут применяться на внешних поверхностях для восстановления утерянной несущей способности колонн в случае потери части сечения арматуры вследствие ее коррозии или для повышения несущей способности в случае увеличения действующих нагрузок.

В Европе, Японии и Америке данные материалы стали использовать для усиления мостов. Данный литературный обзор представляет общий обзор исследовательской деятельности в мире по использованию таких материалов при усилении железобетонных балок и колонн. При рассмотрении используемых композиционных материалов, в том числе технологии их производства, наблюдают, в частности, за поведением усиленной железобетонной балки, а именно за параметрами, влияющими на ее несущую способность.

Повышение несущей способности колонн на действие продольной силы может быть обеспечено наклейкой композита в продольном или поперечном направлении.

Прямоугольные сечения колонн с соотношением сторон  $\frac{h}{b} \leq 1,5$  могут быть усилены для повышения несущей способности при осевом сжатии путем создания эффекта обоймы композитным материалом в направлении перпендикулярном оси элемента.

Необходимая толщина оболочки из композиционного материала определяется из выражения [3]:

$$t_f \geq 0,5k_h \left( \frac{bh}{b+h} \right), \quad (1)$$

где:  $k_h = \frac{0,8(\varepsilon_{bu} - 0,004)R'_{b,hoop}}{R_f \varepsilon_{fu}}$ ;  $R'_{b,hoop} = 1,5R_b$ ,  $\varepsilon_{bu} = 0,003$  – максимальная деформация бетона при сжатии,  $R_f$  – максимальная прочность на растяжение композита,  $\varepsilon_{fu}$  – максимальная деформация при растяжении композита [1].

При проектировании должно соблюдаться условие:

$$E_f \varepsilon_f \leq 0,75R_f. \quad (2)$$

Несущая способность усиленной колонны проверяется по формуле [3]:

$$R_{b,hoop} = R_b \left\{ 2,254 \left[ \sqrt{1 + \left( 558,18 \frac{R_l}{R_b} \right)} \right] - 140,6 \frac{R_l}{R_b} - 1,254 \right\}, \quad (3)$$

где:  $R_l = 0,0038K_1R_f$ ,  $K_1 = 2t_f \frac{b+h}{bh}$ .

Следует учитывать, что для прямоугольных сечений с соотношением высоты к ширине, превышающим 1,5, или размерами поперечного сечения  $b$  или  $h$ , превышающими 900 мм, ограничивающим воздействием обоймы из углеродной ткани следует пренебрегать, если испытания не покажут ее эффективность.

#### Список литературы:

1. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. Москва, 2004.
2. Клюев, С. В. Усиление строительных конструкций композитами на основе углеволокна: монография [текст] / С.В. Клюев, А.В. Клюев, Р.В. Лесовик. – Lambert, 2011. – 123 с.
3. Чернявский, В. Л. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами [текст] / В.Л. Чернявский, Е.З. Аксельрод // Жилищное строительство. – 2003. – № 3. – С. 15–16.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗВЕНА ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ДВУХ ТОЧЕК ФРАГМЕНТА КРИВОЙ РАЗГОНА

**Магергут В.З., д-р техн. наук, профессор,  
Игнатенко В.А.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Как известно, кривая разгона аperiodического звена первого порядка, т.е. звена с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент передачи (усиления) звена,  $T$  – постоянная времени,  $p$  – оператор Лапласа, описывается выражением:

$$y(t) = K(1 - e^{-t/T})a(t), \quad (2)$$

где  $a(t)$  – величина скачкообразного воздействия на звено, причем,  $a(t) = \text{const} = a$ .

При наличии в звене запаздывающего аргумента  $\tau$  соответствующие выражения запишутся в виде:

$$W(p) = \frac{Ke^{-p\tau}}{Tp + 1}, \quad (3)$$

$$y(t) = K(1 - e^{-(t-\tau)/T})a(t) \quad (4)$$

Исходя из того, что постоянная времени звена  $T$  определяется как подкасательная для касательной, проведенной к любой точке экспоненты (2), от точки касания до точки пересечения касательной с потенциальным значением регулируемой величины  $y(t) - y_{\text{пот}}$ , причем, для любой подкасательной  $T = \text{const}$ , и с учетом графика для фрагмента кривой разгона, приведенного на рис.1, для значения коэффициента передачи (усиления) звена  $K$ , соответственно, определяемого для точки  $A_1$  и  $A_2$  можно записать:

$$K_1 = Ty'(A_1) + y_0^1 = Ka \quad (5)$$

$$K_2 = Ty'(A_2) + y_0^2 = Ka \quad (6)$$

где  $y'(A_1) = tg\alpha_1$  - производная в точке  $A_1$ ;  $y'(A_2) = tg\alpha_2$  - производная в точке  $A_2$ ;  $y_0^1$  - значение регулируемой величины в точке  $A_1$ ;  $y_0^2$  - значение регулируемой величины в точке  $A_2$ .

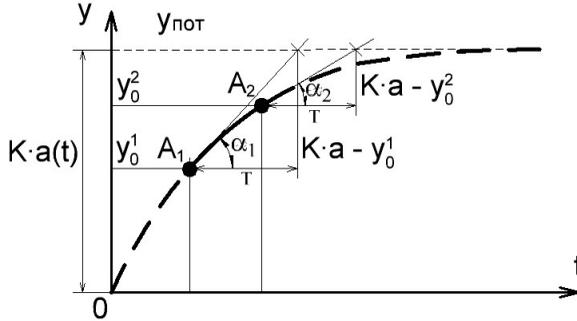


Рис.1. Фрагмент кривой разгона с выделением характеристик точек  $A_1$  и  $A_2$

Приравнявая  $K$  по (5) и (6) определяем  $T$ :

$$T = \frac{y_0^2 - y_0^1}{y'(A_1) - y'(A_2)} \quad (7)$$

Подставляя значение  $T$  в общее выражение для  $K_i$  для любой  $i$ -той точки фрагмента кривой разгона

$$K_i = \frac{(Ty'(A_i) + y_0^i)}{a} \quad (8)$$

получаем значение  $K$  звена:

$$K = \frac{y_0^2 y'(A_1) - y_0^1 y'(A_2)}{(y'(A_1) - y'(A_2)) \cdot a} \quad (9)$$

Таким образом, для идентификации параметров  $K$  и  $T$  звена (1) достаточно знать значения регулируемой величины и скорость её изменения в двух точках фрагмента кривой разгона.

Если речь идет о звене вида (3), то величина запаздывания определяется по величине временного сдвига между моментом подачи управляющего воздействия и моментом реакции звена (объекта управления) на это воздействие (рис.2) или как разность:

$$\tau = t_2 - t_1, \quad (10)$$

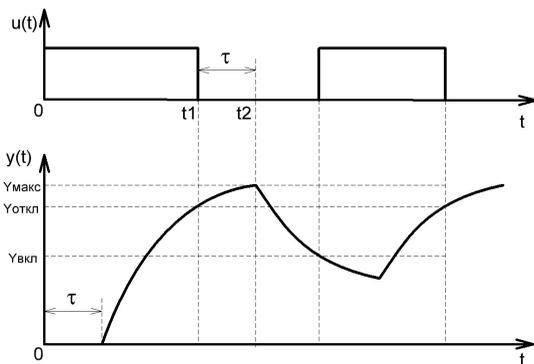


Рис.2. К выделению запаздывания  $\tau$  звена (3) при двухпозиционном регулировании с зоной неоднозначности  $\square = y_{\text{откл}} - y_{\text{вкл}}$ ;  $u(t)$  – позиционное управляющее воздействие

Предложенный метод идентификации удобно применить, например, имея графики переходного процесса в позиционных системах регулирования, в том числе для создания адаптивной приставки по патенту РФ № 2424545 [1] с адаптируемой зоной неоднозначности двухпозиционного регулятора.

Работа выполнена в рамках проекта 2.1.2/10008 «Программно-аппаратные приставки адаптивного позиционного регулирования промышленных и бытовых объектов» по АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009 – 2011 годы)».

#### Список литературы:

1. Пат. 2424545 Российская Федерация, МПК G05B 11/16. Адаптивная приставка к двухпозиционному регулятору / Игнатенко В.А., Игнатенко О.И., Магергут В.З.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова) – №201010000543/08; заяв. 11.01.10; опубл. 20.07.11, Бюл. №20. – 13 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНОРАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ**

**Марков Д.В., аспирант,  
Ерофеев М.Н., канд. техн. наук, доцент**  
*Военно-технический университет при Спецстрое России*

В настоящее время, в связи с расширением районов, объемов и задач по строительству различных объектов на территории Российской Федерации, наблюдается тенденция ужесточения контроля качества в сфере промышленности, что подтверждается рядом новых нормативных документов. Данные условия диктуют: высокая конкуренция на мировых рынка и политика ресурсосбережения во всех отраслях жизнедеятельности человека.

Качество продукции и эффективность её производства - два основных критерия, по которым формируются системы технической и производственной эксплуатации промышленных баз предприятий строительного комплекса, особенностью которых является необходимость круглогодичного производства и применения строительных смесей в различных природно-климатических условиях и непрерывные режимы ее укладки.

Наряду с этим в повышении эффективности возведения объектов промышленного гражданского и транспортного строительства, сокращения сроков их возведения, определяющую роль приобретает мобильность строительных организаций и их производственных баз. Мобильность особенно важна для специального строительства, ведущегося на рассредоточенных объектах, размещенных, как правило, на необорудованной территории и при отсутствии должного сервисного сопровождения, технического обслуживания и ремонта оборудования.

Перечисленные особенности специального строительного производства требуют создания быстровозводимых мобильных производственных участков на основе применения блочно-модульных установок.

До настоящего времени не находила комплексного решения проблема обеспечения технологической надежности данного оборудования. Главной причиной этого является отсутствие или слабый учет условий привязки данного комплекса технологического оборудования к складам и хранилищам компонентов, особенно в условиях возведения объектов промышленного гражданского и

транспортного строительства. Отсутствие адаптированных к данным условиям конструктивных и технологических решений транспортно-складской системы промышленных баз, неизбежно ведёт к резкому росту затрат на доставку и транспортирование компонентов строительных смесей и срыву производственных заданий.

Решение данной задачи возможно только при наличии актуальной методической базы, в которой систематизированы требования и критерии эффективности оборудования производственных участков и их транспортно-складского комплекса (ТСК), что является актуальным направлением.

Движение потока материалов следует рассматривать как очередность функциональных действий, которые приводят к изменению технологических запасов компонентов, как на основных, так и на расходных складах. Обобщенная функциональная модель ТСК включает необходимое и достаточное количество элементов технологической цепочки движения материала (рис. 1). Каждый из этих элементов имеет свою главную функцию  $F_i$  и некоторую совокупность составляющих  $f_j$  функций, т.е.  $F_i = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_m\}$  (табл. 1).

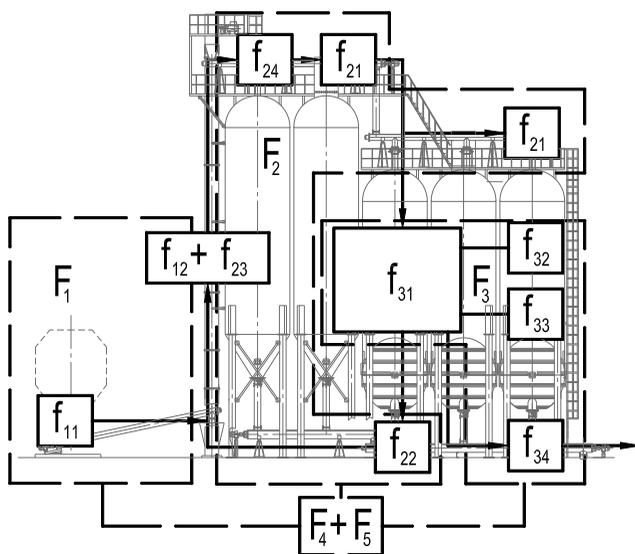


Рисунок - 1. - Обобщенная функциональная модель ТСК ( $F_i$  – главные функции;  $f_{ij}$  – подфункции)

В соответствии с обобщенной функциональной моделью ТСК представляет собой совокупность основного технологического, транспортно-складского, энергетического и вспомогательного оборудования, обеспечивающего транспортирование заполнителей, их хранение и переработку для подачи в бетоносмесительную установку (БСУ).

Таблица 1 - Основные функции, определяющие состав транспортно-складского комплекса

Индекс функции	Наименование Функции	Индекс функции	Наименование Функции
F <sub>1</sub> - Приём			
f <sub>11</sub>	Выгрузка из ТС	f <sub>12</sub>	Транспортировка до средства переработки или хранения
F <sub>2</sub> - Переработка			
f <sub>21</sub>	Выгрузка в емкости	f <sub>23</sub>	Транспортировка
f <sub>22</sub>	Перезагрузка бункеров	f <sub>24</sub>	Отделение инородных тел
F <sub>3</sub> - Хранение			
f <sub>31</sub>	Формообразование (объем)	f <sub>33</sub>	Контроль заполнения объема
f <sub>32</sub>	Герметичность	f <sub>34</sub>	Выгрузка
F <sub>4</sub> - Обеспечение безопасности людей			
f <sub>41</sub>	Предохранение от падения	f <sub>43</sub>	Предохранение от удара током
f <sub>42</sub>	Предохранение от разрыва (разрушения)	f <sub>44</sub>	Предохранение от удара молнией
F <sub>5</sub> - Охрана окружающей среды			
f <sub>51</sub>	Фильтрация выбросов	f <sub>52</sub>	Аспирация закрытых объемов

Целесообразно все оборудование ТСК заполнителей разделить на две группы:

- емкости (склады) для хранения заполнителей с соответствующим набором обслуживающих элементов (далее – СЗ);
- транспортно-технологическое оборудование, предназначенное для перемещения заполнителей (далее – ТТСЗ).

Технология производства на всех ТСК построена по единой основополагающей схеме, основными элементами которой являются устройства приема, переработки и хранения заполнителей. Пути реализации схемы у предприятий могут быть свои, но ее основа неизменна и подразумевает ряд необходимых для нормального

функционирования операций и соответствующих элементов конструкции.

Современные транспортно-складские комплексы (рис. 2) характеризуются достаточно высокими показателями технической эффективности (вместимостью от 1000 тонн и более), высокой насыщенностью транспортно-технологическим оборудованием (до 20 единиц на каждый комплекс) и уровнем автоматизации (до 50%).

Но в то же время производственные наблюдения показали, что основная масса эксплуатирующих БРК организаций обходится без ТСК, а точнее её форма характеризуется как склад под открытым небом, а подача в технологическую систему производства бетона происходит с помощью дополнительных механизированных средств. На компоненты (песок, щебень) происходит воздействие множества отрицательных факторов окружающей среды (чрезмерная влага или сухость, нестабильность температурных режимов), что приводит либо к сублимации или перенасыщения влагой основных заполнителей бетонных смесей, а соответственно к нарушению рецептуры.

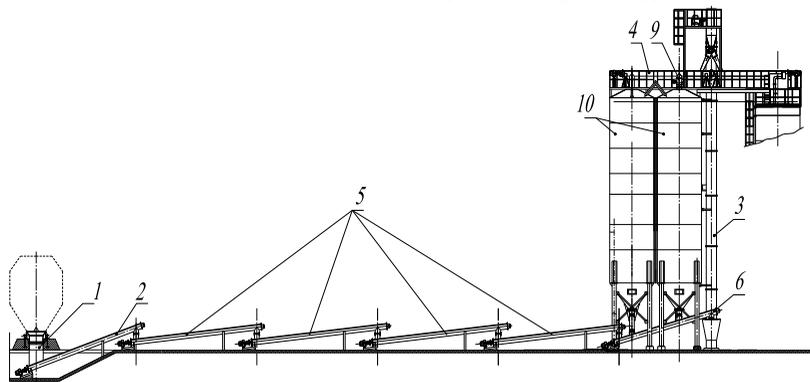


Рисунок 2. - Пример транспортно-технологической системы

Такие формы организации ТСК являются косвенными причинами изначально некачественного производства строительных смесей, что в дальнейшем приводит к плачевным последствиям чрезвычайного характера и большим экономическим потерям.

Таким образом одним из ключевых решений данной задачи является разработка мобильных складов заполнителей и соответствующих технологических цепей по перемещению компонентов между элементами ТСК.

### Список литературы:

1. *Пушкарев, С. А.* Прикладные разработки военно-строительного производства [Текст] / С.А. Пушкарев // Журнал Механизация строительства. - 1995. - № 7. - С. 9-11.
2. *Мухортов, А. Л.* Имитационное моделирование работы быстровозводимых комплексов [Текст] / А.Л. Мухортов // В сборнике тезисов докладов международной научно-технической конференции. – Воронеж: ВГАСА, 1998. - С. 189-190.
3. *Мухортов, А. Л.* Мобильные бетонорастворосмесители [Текст] / А.Л. Мухортов, В.В. Горшков, Н.С. Мальцев / Строительные дорожные машины. - М., Стройиздат, 1999. - № 11. - С. 20-22.
4. *Ерофеев, М. Н.* Комплексный анализ и синтез структуры и технологических элементов бетонорастворных комплексов. [Текст] / М.Н. Ерофеев, И.В. Соколов, Д.А. Пестов // Научно-технический сборник: Вып.19. – Балашиха: ВТУ при Спецстрое России, 2010. – С. 163–166.

## НОМЕНКЛАТУРА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФИБРОПЕНОБЕТОНА

**Моргун Л.В., д-р техн. наук, профессор,  
Смирнова П.В., канд. техн. наук, ст. преподаватель,  
Костыленко К.И., аспирант, Пушенко О.В., аспирант**  
*Ростовский государственный строительный университет*

**Моргун В.Н., канд. техн. наук, доцент**  
*Южный Федеральный университет*

**Богатина А.Ю., канд. техн. наук, доцент**  
*Ростовский государственный университет путей сообщения*

В 1925 г. на Всемирной выставке в Париже Ле Корбюзье впервые показал новый тип дома из бетона, который предопределил современную философию жилья [1]. Идея получила динамичное развитие в европейских городах сразу после окончания 2-й мировой войны, а в России - после постановления 1954 г. «О развитии стройиндустрии». В период с 1956 по 1965 гг. в таких регионах как Краснодарский край или Ростовская область вводилось до двух млн. м<sup>2</sup> жилья в год. Удовлетворение спроса на строительные материалы осуществлялось за счет развития технологий энергосберегающих материалов (автоклавного газосиликата, керамзита, керамзитобетонов). Рыночные преобразования, начавшиеся после кризиса 1991 года, показали, что современная стройиндустрия РФ находится на уровне недостаточном для успешной работы строительного комплекса. Вступили в действие новые теплотехнические требования к ограждающим конструкциям зданий и, большинство выпускаемых материалов, перестало соответствовать новым требованиям. Переориентация строительного комплекса способствовала повышению потребности в эффективных теплоизоляционных материалах. Казалось бы, чего уж проще, правильно применяй их и достигай высокой эффективности. Однако практика показывает, что именно с правильностью применения и возникают проблемы.

Широко рекламируется и, к сожалению, применяется на практике, технология крупнопанельного деревянного домостроения, позволяющая быстро возводить дома из панелей на деревянном каркасе, обшитом снаружи цементно-стружечной плитой толщиной 16 мм, а внутри - гипсоволокнистым листом толщиной 12 мм. Внутреннее пространство каркаса заполняют утеплителем «Изовер» толщиной 150 мм. Панели изготавливают в заводских условиях, они имеют точные размеры и быстро собираются в готовый объект на строительной площадке. Достоинства такого способа очевидны и всегда проявляются в зданиях

мобильного типа, то есть таких в которых возможна замена теплоизоляционного слоя в случае утраты им эксплуатационных свойств. А недостатки проявляются не в момент сдачи объекта приемочной комиссией, а позже, после некоторого (3...8 лет) срока эксплуатации.

При эксплуатации такого дома пар, диффундирующий от теплого к холодному через воздухо- и паропоницаемый гипсоволокнистый лист, проникает в утеплитель, где и накапливается в виде конденсата. Влага, скопившаяся в теплоизоляционном слое стеновой конструкции, при её эксплуатации обеспечит:

- утрату первоначально достигнутого уровня теплоизоляции [2];
- развитие усадочных деформаций в теплоизоляционном и ограждающих слоях [3];
- ухудшение эстетических свойств ограждающих поверхностей [2,3].

Увлажненный материал создаст благоприятные условия для гниения деревянного (или коррозии металлического) каркаса и разрушения гипсоволокнистого листа. Эти процессы обозначатся путем появления «мокрых пятен» внутри помещений.

В России также применяют аналог описанной технологии - «Русская стена». В ней изменен только вид утеплителя: вместо «Изювера» - вспененный пенополистирол (ППС). Известно, что ППС обладает низкими тепло- и огнестойкостью. До возгорания при  $t=80...90^{\circ}\text{C}$  в ППС развивается деструкция, приводящая к изменению объема и выделению вредных веществ. Оценка работы ППС в составе трехслойных строительных конструкций показывает, что под оштукатуренной поверхностью ППС физически нестабилен. Даже при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$  количество вредных веществ, выделяемых ППС производства Минского комбината строительных изделий, превышает ПДК (предельно допустимую концентрацию) в 2,5 раза [4]. По данным центра экологической токсикологии (Москва), содержание хлороформа, изопрропилбензола, этилбензола, ксилола, нафталина и других токсичных веществ в панелях жилых домов, включающих ППС в качестве утеплителя, превышают ПДК от 10 до 100 раз. Б.С. Баталин (Пермский ГТУ) регистрировал превышение ПДК не только в панелях, но и в воздухе жилых помещений. Пожары в отдельных квартирах домов в результате распространения температурной волны уничтожают утеплитель в стенах рядом расположенных квартир. Статистика чрезвычайных ситуаций последних 10 лет отражает тот факт, что растет число пожаров с большим количеством жертв, причиной которых

является мера токсичности стеновых материалов. Полагаем, что изменение свойств ППС от воздействия не контролируемых случайных факторов потенциально опасно, если он применен как утеплитель стен зданий, и экономически не выгодно при эксплуатации их более 10 лет. Для капитального строительства нужны такие материалы, свойства которых удовлетворяют комплексным требованиям экологичности, теплоэффективности, пожаро- и взрывобезопасности, комфортности и долговечности, надежности и ремонтпригодности, предъявляемые к ним не только на момент возведения, но и в период длительной эксплуатации зданий.

Самым привлекательным стеновым материалом современности, безусловно, является ячеистый бетон. Эффективность его применения признана во всем мире и не имеет себе равных. Однако надо учитывать, что ячеистые бетоны автоклавного и естественного твердения существенно различаются по свойствам. У автоклавных бетонов высока прочность на сжатие. При этом потребитель не учитывает того, что конкретная величина прочности на сжатие назначается не потому, что конструкция получит соответствующие сжимающие нагрузки при монтаже или эксплуатации, а потому, что прочность на растяжение у каменных материалов редко превышает 10% от прочности на сжатие! Успешные монтаж и эксплуатация конструкций из такого материала возможны только в том случае, если они обладают достаточным сопротивлением к перечисленным воздействиям. Прочность, достигнутая материалами в автоклаве, по мере их эксплуатации падает, а прочность бетонов неавтоклавного твердения увеличивается [6]. Учитывая технико-экономическую привлекательность ячеистых бетонов неавтоклавного твердения очень важен поиск технологических приемов, способных обеспечивать как повышение их прочности при растяжении, так и существенное снижение усадочной деформативности, либо её исключения [5]. Одним из приемов, обеспечивающим устранение вышеперечисленных недостатков, является дисперсное армирование пенобетонов синтетическими волокнами, которое способствует повышению их прочности на растяжение в 5..10 раз [6], что влечет за собой довольно значительный перечень преимуществ, проявление которых чрезвычайно важно при изготовлении крупногабаритных изделий, их транспортировании, монтаже и эксплуатации законченных строительных объектов. Дисперсно армированный пенобетон неавтоклавного твердения называют фибропенобетоном (ФПБ). Мелкоштучные и погонажные изделия из

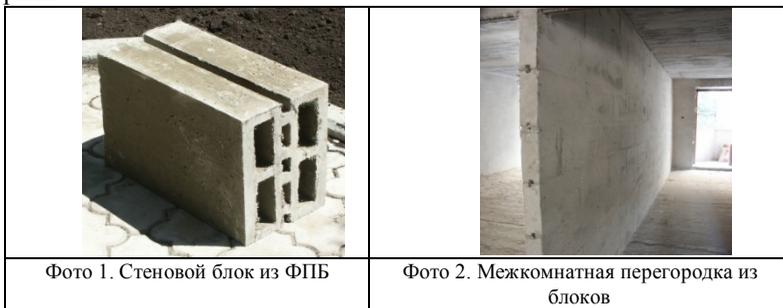
ФПБ в ЮФО промышленным образом изготавливаются с июля 2002 года по настоящее время. Освоена следующая номенклатура изделий:

- блоки стеновые и теплоизоляционные плотностью от 250 до 900 кг/м<sup>3</sup>;
- галтели плотностью 400 и 500 кг/м<sup>3</sup>;
- перемычки брусковые и арочные;
- карнизные изделия.

ФПБ отличается [6] от существующих видов ячеистых бетонов:

- повышенными прочностью при растяжении и вязкостью разрушения;
- пониженными теплопроводностью и усадочной деформативностью.

Что дает строительному делу такое изменение свойств материала? Прежде всего, возможность получения высокоточных изделий сложной формы.



Такую форму (фото 1) изделия могут иметь только благодаря достаточной прочности на растяжение. Пазовая конструкция стенового блока в сочетании со 2-м классом точности размеров предопределяет пониженные требования к уровню квалификации рабочих, осуществляющих кладку, и делает изделия привлекательными для частных застройщиков, военных строителей и тех регионов страны, где ощущается дефицит квалифицированных строителей. Технология кладочных работ из таких изделий (фото 1) предусматривает, что укладка первого ряда стены осуществляется с применением уровня, а дальнейшая кладка осуществляется практически вслепую, так как точность геометрических размеров в сочетании с пазошпоночной конструкцией изделия позволяет эффективно использовать принцип "паз-шпонка" (фото 2) и исключать оштукатуривание стен. Сравнение теплопроводности равноплотных газо-, пено- и ФПБ показывает, что последние выгодно (на 15...20%) отличаются в лучшую сторону, при этом паропроницаемость ФПБ близка к кирпичной кладке [6].

Защиту оконных проемов от нагрузок осуществляют перемычками. Железобетонные перемычки – это «мостики холода», которые

ухудшают теплотехнические свойства ограждающих конструкций, поэтому над оконным проемом часто устанавливают не одну перемычку по толщине стены, а несколько тонких, между которыми прокладывают минераловатные теплоизоляционные материалы. На момент сдачи объекта в эксплуатацию все "прекрасно". А вот на вопрос о том, как осуществить замену теплоизоляционных слоев после их слеживания, строители пока не дают ответа. Если железобетонные перемычки заменить теплоэффективными брускового или арочного типа из фибропеножелезобетона, то исключается потребность в дополнительной теплоизоляции этого элемента стеновых конструкций.

При возведении зданий внутри существующей застройки, возникает ряд сложных организационных и технологических проблем, к числу которых относятся:

- жесткое ограничение границ стройплощадки;
- сложность обслуживания строящегося объекта крановым оборудованием;
- отсутствие площадей для складирования изделий из сборного железобетона и др.

Применение изделий из железобетона позволяет успешно решать такие проблемы потому, что монтаж даже крупноразмерных элементов не всегда требует применения кранового оборудования. Именно такие проблемы были успешно решены при возведении офисного центра «Купеческий двор» в историческом центре г. Ростова-на-Дону (фото 3 и 4). Здание возводилось в стесненных условиях, поэтому башенный кран мог обслуживать только часть объекта. Карнизные изделия, украшающие его фасад, должны были сочетать в себе малую массу с требуемыми геометрическими размерами и атмосферостойкостью. Для этого были изготовлены фибропеножелезобетонные изделия сложной геометрической формы, способные эксплуатироваться без специальной защиты от атмосферных воздействий.

В 2010 г. была изготовлена и испытана под действием длительно действующей нагрузки плита перекрытия (900x300x4800 мм) из фибропенобетона плотностью 800 кг/м<sup>3</sup> армированная объемными металлическими каркасами (фото 5). Достижение допустимого прогиба (6,85 мм) имело место после превышения нагрузки в 730 кг/м<sup>2</sup>, т.е. в 2,4 раза выше нормативной для плит, предназначенных для жилья. При удельной нагрузке 2,2 т/ м<sup>2</sup> прогиб плиты в средней части пролета достиг 35 мм, однако видимых трещин в растянутой зоне изделия обнаружено не было. Плита не имела местного смятия в местах

опирания. Вес брутто испытанной плиты составил 1,2 т, что как минимум на 15% легче пустотной железобетонной плиты такой же площади.



Анализ номенклатуры изделий из фибропенобетона показывает, что этот материал может успешно применяться в домостроении потому, что его свойства обеспечивают достижение требуемых прочности и теплоэффективности в сочетании с возможностью получения гладких лицевых поверхностей любой конфигурации.

#### Список литературы:

1. Коэн Ж.Л. Ле Корбюзье. Арт-родник, 2008. - 96 с.
2. Новиков, А. В. Новый подход к управлению качеством при выполнении фасадных работ / А.В. Новиков // Стройпрофиль. – 2004. - № 3(33). – С. 32-34.
3. Алехин, С. В. Типология дефектов систем теплоизоляции «мокрого типа» / С.В. Алехин, А.В. Новиков // Стройпрофиль. – 2004. - №6 (36). – С. 44-48.
4. Маркевич, А. И. Для тех, кто заработал возможность выбирать / А.И. Маркевич, Б.Г. Охота // Сб. тр. Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве. - Украина, Севастополь, 2007. – С. 236-248.
5. Моргун, В. Н. Теоретическое обоснование закономерностей конструирования структуры пенобетонов / В.Н. Моргун // М-лы международного конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008». Том 1. Современные проблемы строительного материаловедения и технологии. Книга 1. Воронежский ГАСА, 2008. – С. 333-337.
6. Моргун, Л. В. О ячеистом бетоне пониженной сейсмоустойчивости / Л.В. Моргун, А.Ю. Богатина, П.В. Смирнова, В.Н. Моргун, Я.С. Набокова // Строительные материалы. – 2010. - № 3. – С. 73-76.

## РЕЦИКЛИНГ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

**Морозовский А.А.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Автомобиль, хотя и является предметом длительного пользования, все же имеет конечный срок эксплуатации. Следовательно, после окончания его эксплуатации необходимо принять меры по его утилизации. Выведенные по различным причинам из эксплуатации транспортные средства и их компоненты частично утилизируются (черные и цветные металлы, содержащиеся в конструкции ВЭТС, аккумуляторов) но в основном становятся автотранспортными отходами. Поэтому вышедший из эксплуатации автомобиль может и должен стать источником вторичных материальных ресурсов.

За рубежом наиболее эффективно действующими являются системы авторециклинга в Нидерландах, Германии, США, Франции, Великобритании, Японии.

Практически во всех экономически развитых странах на уровне правительств разработаны и действуют программы, которые включают мероприятия по квалифицированному обследованию машин, частичному демонтажу шин на перерабатывающих предприятиях, повторному применению снятых деталей, переплавке машин, захоронению неперерабатываемых отходов. Обычно общий объем материалов, вывозимых в отвалы, составляет 25-30 % от массы автомобиля.

Обращение с отходами четко регламентируется нормативно-правовыми актами и контролируется государственными органами, регулируется экономически – предприятия несут ответственность за переработку выпущенной ими продукции. Необходимые средства на переработку отходов выделяются государством и аккумулируются в специальных экологических фондах на местном и федеральном уровне.

Использование металлолома существенно снижает стоимость всей металлопродукции. По усредненным данным, при переплавке стального металлолома требуется только 25% энергии, затрачиваемой на выплавку стали из руды в домах.

Особое внимание в последнее время уделяется переработке пластмасс, полипропилена, которые все больше используются в производстве автомобилей. Их переработка во вторичные материалы и

использование с максимальной эффективностью возможны только после рассортировки по видам полимеров и по конкретным маркам пластмасс. Некоторые фирмы ввели с этой целью стандартизованную маркировку деталей из резины и пластмасс, позволяющую четко определить марку материала.

Европейской Комиссией разработаны проекты законов «Введение документов о переработке» и «Определение минимальных критериев для переработчика автомобилей /Директива об окончании жизненного цикла». Эти документы предусматривают, что начиная с 2015 года минимум 85% веса автомобиля должно уходить на рециклинг материалов, только 10% могут быть термически переработаны и всего 5% могут быть захоронены.

Проектная группа "Утилизация автомобилей" компании BMW разрабатывает концепцию вторичного использования деталей автомобилей. Концепция учитывает необходимость утилизации уже на стадии проектирования. Разбираемые в Центре модели автомобилей удается использовать повторно почти на 95%. Масло, антифриз, бензин идут на переработку или в качестве топлива на собственную ТЭЦ. Демонтированные элементы, пригодные в качестве запчастей (стекла, двери, сиденья) продаются примерно вдвое дешевле новых. Разделенные по видам материала детали измельчаются, прессуются и идут в переплавку. Мелкие пластиковые детали, разборка которых трудоемка, идут на топливо.

Содержащиеся в отработанных аккумуляторах кислоты подвергаются нейтрализации. Свинец вывозится для переработки в другие страны, а полимерные отходы уничтожаются путем их высокотемпературного сжигания.

Покрышки состоят из резины, текстильного корда и металлической основы. Все эти составляющие могут найти самое широкое применение при вторичной переработке.

Оборудование для переработки шин стоит недешево, но оно окупается в течение от года до трех лет и затем приносит чистую прибыль. Несмотря на увеличение стоимости работ (от 10 до 100%) резиноасфальт имеет большую износо- и морозостойкость в 1,5-2 раза, снижает шум и тормозной путь автомобиля.

Сжигание изношенных шин энергетически неперспективно, так как для изготовления легковой шины требуется энергия эквивалентная содержащейся в 35 л нефти, а при ее сжигании возвращается энергия, эквивалентная лишь 8 л нефти. Однако сжигание шин в цементных

печах снижает загрязнение окружающей среды и в ряде случаев экономически выгодно.

В России складывается парадоксальная ситуация: при огромном потенциале рынка авторециклинга, наличии реальных запасов готовых к переработке машин, предприятия простаивают или, в лучшем случае, загружена лишь малая часть этих мощностей. Причина, по которой не может развиваться целая подотрасль промышленности, проста. Авторециклинг существует сегодня вне правового поля, взаимоотношения автовладельцев и переработчиков никак не регламентированы. Следовательно, сегодня крайне необходимы законы, регламентирующие отношения всех заинтересованных участников.

Подотрасль заготовки вторичного сырья на сегодняшний день отсутствует. На территории страны функционирует всего 6 шредерных установок, с каждой из которых работают от пяти до семи заготовителей автолома. На переработку попадает лишь 15% от массы выходящих из эксплуатации автомобилей, оставшаяся часть которых продолжает наносить вред окружающей среде.

Научная проблема утилизации большей частью находится в сфере технических наук, связана с созданием машин, приспособленных к различным видам и способам утилизации, возможности применения на вторичном рынке, как машин в целом, так и отдельных их элементов.

Проблема технологической утилизации автомобилей, строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин, а также специализированной техники на их базе является малоизученной. Ранее она сводилась к списанию машин, плановой сдаче металлолома. В свете современных требований к использованию ресурсов проблема утилизации должна быть рассмотрена с позиции максимальной экологической и экономической эффективности, при соответствующем уровне технической безопасности.

Развитие технологий восстановления ресурсов для их многократного использования по основному или иному назначению соизмеряются с экономической целесообразностью, которая меняется, отражая рыночную ситуацию. Такое сочетание направлений определяет комплексный характер исследования: технологические процессы утилизации рассматриваются с учетом экологических, экономических требований и последствий, формирующих их концептуальность.

Проблема утилизации машин, сохранившихся как сырье для дальнейшего использования, требует глубокого теоретического обобщения, методической проработки и обоснований путей практической реализации. Эта проблема должна быть рассмотрена по-

иному, нежели списание техники, учитывая ее огромное практическое значение для экономики региона, так как списываемая машина представляет собой концентрат ремонтного фонда запасных частей. Представляется актуальным кардинальное изменение системы списания, на ее место придет система утилизации техники, включающая многократное возобновление и использование ресурсов. Концептуальность этого утверждения требует более глубокого исследования проблемы утилизации отработавших ресурсов.

Глубокие исследования выполнены по экологической безопасности, подготовке к утилизации моющих растворов и отработавших нефтесодержащих жидкостей; выявлены факторы влияния на окружающую среду отработавших газов и не утилизируемых компонентов технических средств, раскрыты другие стороны утилизации ресурсов. Разработки этой проблемы учеными, занятыми технологическим восстановлением деталей машин, оборотом металлоресурсов, дают возможность обосновать выбраковку сборочных единиц и направление их на утилизацию, позволяют проследить металлооборот при восстановлении деталей и при списании техники.

Однако в целом как комплексная, проблема утилизации транспортных и технологических машин не раскрыта в полной мере, нет концепции, определяющей ее основные блоки, отсутствуют разработки требований к процессам утилизации и требований к машинам по их приспособленности к утилизации, закладываемых в период проектирования.

Многогранность проблемы, необходимость и целесообразность выбора подходов для ее комплексного решения обусловлены многообразием транспортных и технологических машин находящихся в обращении в Белгороде и регионе, а так же наличием всех уровней хозяйствования, начиная с индивидуальных владельцев и заканчивая крупными строительными, дорожными и коммунальными предприятиями всех сфер жизнеобеспечения города и региона. Рассредоточенность техники по территории, определяет специфические условия сбора ремонтного фонда и условий концентрации машин, подлежащих утилизации.

Утилизация как научная проблема охватывает закономерности движения ресурсов, потребляемых машиной за жизненный цикл. Эти ресурсы с более коротким сроком функционирования подлежат утилизации по технологиям, отражающим их материальный состав, возможность повторного использования и особенностей локализации.

Базовым документом формирующим основные пути решения поставленной проблемы является Федеральный закон общего технического регламента «О безопасной эксплуатации и утилизации машин и оборудования», а так же соответствующие разделы проектов технических регламентов «О безопасности строительных, дорожных и коммунальных машин», «О безопасности подъемно-транспортного оборудования и лифтов», «О безопасности автотранспортных средств».

Законом о Техническом регулировании установлено, что процессы утилизации должны выполнять (или организовать выполнение) фирмы изготовители продукции, которая в части оставшейся после ее потребления подлежит утилизации.

Результативность, положительный эффект рационально организованной технологической утилизации проявляется в виде реальной экономии ресурсов за счет многократного использования конструктивных и неконструктивных элементов утилизируемых машин, производства и использования вторичного сырья, получаемого при переработке утилизируемых объектов; обеспечения экологического равновесия в результате своевременного освобождения территории от отработавших ресурсов.

Актуальность проблемы настолько велика, что над решением вопросов утилизации работают ученые многих индустриально развитых стран мира, создавая технологии и технологическую оснастку крупных, перерабатывающих выбывающую технику, центров по утилизации. Однако специфические проблемы утилизации автомобилей, строительных, дорожных, подъемно-транспортных и коммунальных машин нуждаются в своем решении применительно к оптимальной загрузке имеющейся технической базы ремонтного и сервисного производства.

#### **Список литературы:**

1. Трофименко, Ю. В. Утилизация автомобилей: научная монография / Ю.В. Трофименко, Ю.М. Воронцов, К.Ю. Трофименко. – М.: АКПРЕСС, 2011. – 336 с.: ил.
2. <http://spb.adlr.ru>
3. <http://polymergy.ru>

## **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КРИСТАЛЛОВ САПФИРА С УСТРОЙСТВОМ ДЕМПФИРОВАНИЯ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ**

**Набоков Р.А.,**

**Рубанов В.Г., д-р техн. наук, профессор**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Кристаллы сапфира используются при производстве твердотельных источников света – светодиодов. Важной чертой светодиодной технологии является принципиально более высокий по сравнению с альтернативными технологическими решениями уровень светоотдачи, что способно привести к значительному сокращению затрат электроэнергии на освещение, составляющих по различным оценкам до 18–20% всех затрат произведенной электроэнергии. Данное направление относится к двум критическим технологиям и перспективным направлениям науки и техники Российской Федерации (№7 Нанотехнологии и наноматериалы, №30 Технологии создания электронной компонентной базы).

Определяющую роль в процессе выращивания кристаллов сапфира выполняет создание высокостабильного температурного поля за счет применения прецизионного преобразователя энергии, питающего мощные тэны. Такой преобразователь относится к классу нелинейных динамических систем и обладает определенными свойствами, включая хаотизацию колебаний выходного напряжения [1]. В хаотическом режиме движения воздействие внешнего шума, даже сколь угодно малого, может привести к внезапному переходу системы от одного динамического состояния к другому. Следствием этого является значительное увеличение динамических ошибок и ухудшение качественных показателей, повышенное энергопотребление, а так же внезапные отказы технологического оборудования, что является не допустимым в технологии кристаллизации.

В качестве преобразователя энергии предполагается использование системы с широтно-импульсной модуляцией или с управлением в виде электронного релейного элемента, которые благодаря простоте их реализации, малой энергоемкости и высокой точности, широко применяются в различных отраслях промышленности.

С целью исследования свойств преобразователя напряжения была сконструирована и проанализирована физическая модель системы с релейным управлением, схема замещения которой приведена на рис. 1. [2].

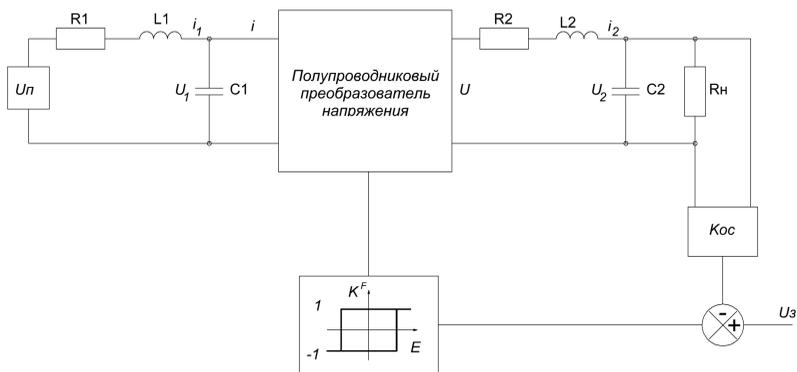


Рис. 1. Схема замещения преобразователя напряжения с релейным управлением

Упрощенная математическая модель релейной системы была представлена в виде [2, 3]:

$$\frac{dX}{dt} = G(X), \quad X = (x_1, x_2, x_3, x_4)^T; \quad G = (g_1, g_2, g_3, g_4)^T, \quad (1.1)$$

где

$$g_1 = \eta(-x_1 - x_2 + \Omega);$$

$$g_2 = \gamma(x_1 - \frac{1}{2}(1 + K_k^F(\varepsilon))x_3);$$

$$g_3 = \frac{\mu(1 + K_k^F(\varepsilon))}{2}x_2 - \nu x_3 - \mu x_4;$$

$$g_4 = \lambda(\frac{x_3}{\alpha} - \frac{x_4}{\beta});$$

$$K_k^F = K_{k-1}^F \text{sign}(\chi_0 + (-1)^{N_{k-1}} \varepsilon(X)), \quad K_0^F = -1;$$

$$N_k = N_{k-1} + \frac{1 - \text{sign}(K_k^F K_{k-1}^F)}{2}, \quad N_0 = 0, \quad k = 1, 2, \dots$$

$$\varepsilon(X) = U_3 - K_{oc} x_4;$$

$$\eta = \frac{R_1}{L_1}, \quad \Omega = U_n, \quad \gamma = \frac{1}{C_1 R_1}, \quad \mu = \frac{R_1}{L_2}, \quad \nu = \frac{R_2}{L_2}, \quad \lambda = \frac{1}{C_2}, \quad \beta = R_n, \quad \alpha = R_1.$$

Для решения полученной системы дифференциальных уравнений с разрывной правой частью (1.1) было создано программное обеспечение, позволяющее изучить динамику системы с целью нахождения значений параметров, например напряжения питания –  $U_n$ , при которых возникают хаотические колебания (рис. 2).

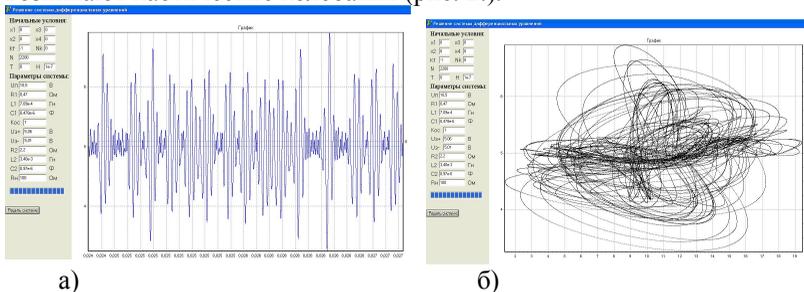


Рис. 2. Результаты исследования системы при  $U_n = 10,5 \text{ B}$ : а) – график зависимости  $U_{C_2}(t)$ ; б) – фазовый портрет движения изображающей точки  $U_{C_2}(U_{C1})$

При найденном значении  $U_n$  было произведено исследование физической модели разработанной системы, в результате чего получены осциллограммы (рис. 3.), так же демонстрирующие хаотическую динамику.

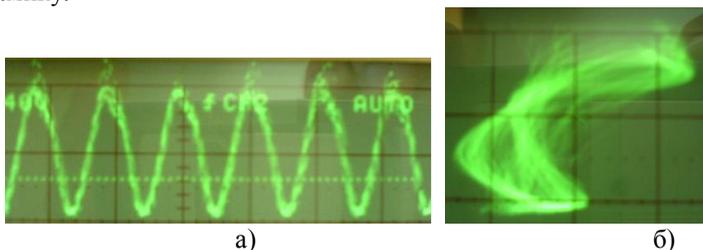


Рис. 3. Результаты исследования физической модели системы при  $U_n = 10,5 \text{ B}$ : а) – осциллограмма зависимости  $U_{C_2}(t)$ ; б) – осциллограмма движения изображающей точки на плоскости  $U_{C_2}(U_{C1})$

Так как хаотическое движение релейной системы сопровождается всплесками амплитуды (рис. 2. а, рис. 3. а), то для демпфирования системы было выбрано и сконструировано псевдолинейное корректирующее устройство (рис. 4.), обладающее свойством ослабления амплитуды входного сигнала с ростом его частоты без изменения фазы выходного сигнала [4].

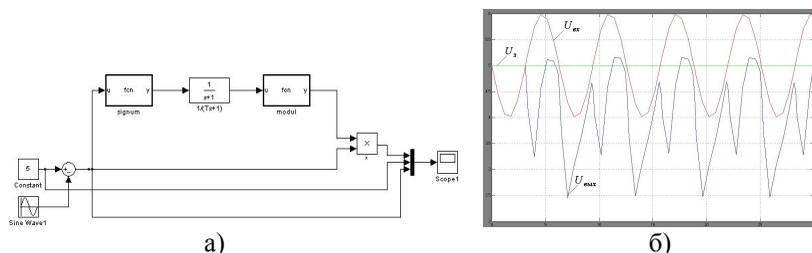


Рис. 4. Псевдолинейный корректирующий элемент в системе Matlab Simulink: а) – модель; б) – результаты моделирования: прямая линия – задающее напряжение  $U_s$ , входной синусоидальный сигнал  $U_{ax}$ , выходной сигнал  $U_{vyx}$  амплитуды меньшей, чем входной

Как видно из осциллограмм (рис. 5.), демонстрирующих динамику физической модели системы, скорректированной разработанным демпфирующим устройством, система не переходит к хаотическому движению при том же значении параметра  $U_n$  нескорректированной системы, а проявляет режим квазипериодических колебаний.

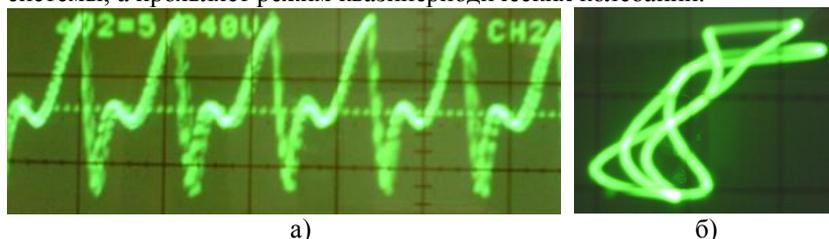


Рис. 5. Результаты исследования физической модели скорректированной системы при  $U_n = 10,5 B$ : а) – осциллограмма зависимости  $U_{R_n}(t)$ ; б) – осциллограмма движения изображающей точки на плоскости  $(U_{C_2}, U_{C_1})$

Таким образом, при использовании псевдолинейного

динамического регулятора достигается демпфирование хаотических колебаний преобразователя энергии, что способствует:

- повышению качества выращиваемых кристаллов;
- исключению возможности нарушения процесса кристаллизации.

Основные этапы разработки и отладки системы предполагается осуществить в три этапа:

На первом этапе исследуются динамические свойства преобразователя напряжения для создания температурного поля при выращивании кристаллов сапфира.

На втором этапе осуществляется конструирование устройства демпфирующего хаотические колебания такого преобразователя.

На третьем этапе осуществляется отладка и внедрение на ООО «Техсапфир» преобразователя энергии с устройством демпфирования хаотических колебаний.

Применение системы позволит достичь повышения качества и снижения себестоимости производимой продукции, вследствие получения высокостабильного температурного поля технологически необходимого при выращивании кристаллов сапфира.

#### **Список литературы:**

1. *Жусубалиев, Ж. Т.* Бифуркации в широтно-импульсных системах автоматического управления [Текст]: учебное пособие / Ж.Т. Жусубалиев, В.С. Титов. – Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2007. - 100 с.
2. *Жусубалиев, Ж. Т.* Хаотические колебания в технических системах [Текст]: монография / Ж.Т. Жусубалиев, В.Г. Полищук, В.С. Титов. – Курск: Курск. гос. техн. ун-т, 2008. - 201 с.
3. *Набоков, Р. А.* Разработка и математическое описание релейной системы с гистерезисом, обладающей хаотической динамикой / Р.А. Набоков, В.Г. Рубанов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24 [текст]: сб. трудов XXIV Междунар. научн. конф.: в 10 т. Т.6. Секция 6,7 / под общ. ред. В.С. Балакирева. – Киев: Национ. техн. ун-т Украины «КПИ», 2011 – С. 102-104.
4. *Набоков, Р. А.* О демпфировании хаотических колебаний релейной системы псевдолинейным корректирующим устройством / Р.А. Набоков, В.Г. Рубанов // Микроэлектронные информационно-управляющие системы и комплексы: сб. тез. выступлений и статей Всероссийской научной школы, г. Новочеркасск / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЛИК, 2011. – С. 79-82.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ СВЧ-НАГРЕВЕ

Недоносков А.Б.,

Гузенок С.А.,

Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доцент

*Военный авиационный инженерный университет*

Диагностика и оценка состояния дорог и дорожных сооружений является основным звеном в системе управления развитием и совершенствованием дорожной сети, повышением транспортно-эксплуатационных показателей, надежностью функционирования каждой дороги и всей сети автомобильных дорог. Она создает предпосылки для эффективного использования средств и материальных ресурсов, направляемых на развитие и совершенствование дорожной сети.

Прочность дорожной одежды представляет собой один из важнейших показателей транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог. Снижение прочности связано с появлением остаточных деформаций дорожной одежды, вызывающих ухудшение ровности проезжей части, уменьшение средней скорости движения автомобилей; снижение безопасности движения, ухудшение условий движения.

В процессе испытаний дорожной одежды для оценки ее прочности измеряют упругий прогиб от расчетной нагрузки, вычисляют общий фактический модуль упругости  $E_{\phi}$ , применяя зависимость:

$$E_{\phi} = \frac{P \cdot D}{l} \cdot (1 - \mu^2) \text{ [Па]} (\text{МПа})$$

где  $P$  - среднее удельное давление, передаваемое испытательной нагрузкой, Па (МПа),  $D$  - диаметр круга, равновеликого отпечатку площадки, передающий расчетную нагрузку, м,  $l$  - прогиб дорожной одежды, м,  $\mu$  - коэффициент Пуассона ( $\mu \approx 0,3$ ).

Цель оценки прочности дорожных одежд состоит в получении объективных данных о ее тактической прочности, соответствии этой прочности условиям движения и получении объективных данных для научно-обоснованного планирования ремонтных мероприятий.

Результатом инструментальной оценки прочности должны быть следующие показатели — средние расчетные модули упругости по каждому участку, коэффициенты вариации модулей упругости,

характеризующие однородность дорожной одежды по прочности. При необходимости разрабатывают рекомендации по усилению дорожной одежды.

Испытания дорожной одежды на участках, требующих детальной диагностики, начинают с контрольных точек. В районах зимнего промерзания одежды эти испытания производят с наступлением устойчивой положительной температуры, что обычно совпадает с интенсивным таянием снега. В южных районах с расчетным периодом зимой испытания на контрольных точках начинают с наступлением устойчивой влажной погоды.

При традиционном методе испытание несущей способности дорожных конструкций со слоями из материалов, содержащих битум установкой динамического нагружения (УДН), проводится при температуре от 5 до 15°C.

В реальных условиях асфальтобетонное покрытие работает в широком диапазоне температур, следовательно в зависимости от температуры изменяются свойства покрытия в том числе и прочность, которая будет уменьшаться с ростом температуры. В результате недостаточной сдвигоустойчивости при высоких летних эксплуатационных температурах в слое асфальтобетона могут образовываться пластические деформации в виде колеи.

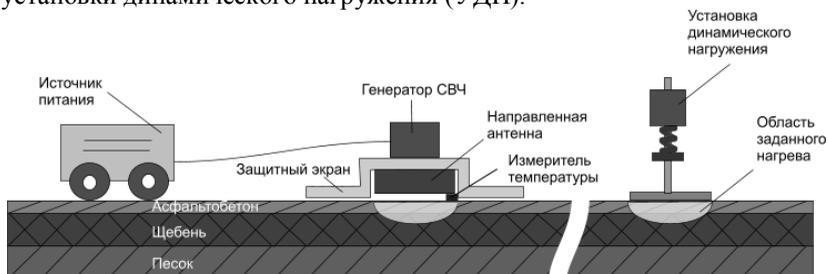
Для определения реологических свойств асфальтобетона в стационарных условиях существует установка, которая позволяет определять ползучесть при статической и динамической осевой нагрузках, модуль упругости при непрямом растяжении, а также усталостную долговечность асфальтобетона.

Установка для определения реологических свойств асфальтобетона состоит из камеры терморегуляции, механизма осевого нагружения, приспособления для определения усталостной долговечности и компьютера. Камера терморегуляции функционирует в пределах от -10 °С до +60 °С.

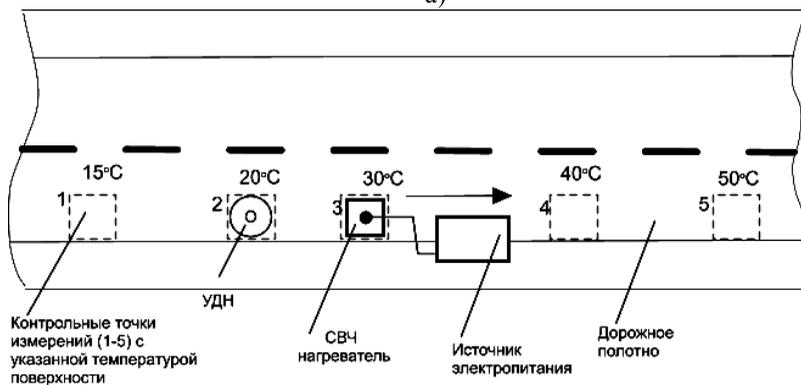
Стандартный метод измерения реологических свойств уложенного асфальтобетона обладает такими недостатками, как большая длительность и неравномерность нагрева поверхности асфальтобетона.

Для определения модуля упругости асфальтобетонного покрытия в полевых условиях при различной температуре поверхности предлагается метод нагрева дорожного полотна в местах испытаний с помощью микроволновой энергии. Схема СВЧ нагревателя показана на рисунке ниже.

Сущность метода заключается в следующем: на асфальтобетонном покрытии намечаются контрольные точки, на которых будут производиться измерения модуля упругости покрытия, затем с помощью СВЧ нагревателя данные точки последовательно нагревают до заданной температуры, после чего проводятся замеры с помощью установки динамического нагружения (УДН).



а)



б)

Рисунок - Технологический процесс определения модуля упругости асфальтобетонного покрытия с использованием СВЧ нагрева  
а) принцип нагрева покрытия; б) карта нагрева покрытия

При помощи данного метода можно добиться высокой однородности нагрева покрытия и сокращения продолжительности технологического процесса в несколько раз.

Измерения, проведенные с использованием данного метода, показали хорошую повторяемость результатов, что позволяет с высокой точностью определять реологические свойства уложенных смесей асфальтобетона без разрушения покрытия

## **РАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К СМЕШЕНИЮ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОТИВОТОЧНОМ СПИРАЛЬНО-ЛОПАСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ**

**Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доцент,  
Горшков П.С., аспирант**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Рынок сухих строительных смесей развивается стремительными темпами. Широкое внедрение модифицированных строительных смесей началось во второй половине 90-х годов. Темпы прироста объемов выпуска строительных смесей в России составляли 40-45% в год. В настоящее время производство сухих строительных смесей в нашей стране является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений строительной индустрии.

Именно в наши дни, модифицированные сухие смеси сложного состава: шпаклевки, выравнивающие смеси, клеи высокой степени фиксации, и т.д., получают все более широкое распространение в строительстве. Сегодня производство сухих смесей является не только одним из крупнейших сегментов строительного рынка, но и своеобразной испытательной базой, где перспективные разработки, как в области строительной химии, так и специального технологического оборудования подвергаются самой серьезной проверке и апробации.

Основными процессами технологической цепочки производства сухих строительных смесей, оказывающих существенное влияние на их эксплуатационные характеристики, является: подготовка сырьевых компонентов, их дозирование и смешивание, распределение малых химических добавок и премиксов в основной массе продукта. Однородность материала, является основой требуемого качества современных строительных смесей. От того, насколько равномерно отдельные компоненты будут распределены в основном объеме смеси, напрямую зависят эксплуатационные характеристики получаемого продукта. Даже небольшое отклонение содержания малых добавок, вызванное плохим их распределением, может негативно сказаться как на физико-механических, так и на технико-эксплуатационных свойствах смеси.

Именно по этим причинам смесительный узел по праву считается наиболее ответственным участком завода по производству сухих строительных смесей. Соответственно, работа смесительного

оборудования, является важнейшим шагом на пути получения высококачественного продукта.

Для получения сухих строительных смесей, отвечающих современным требованиям строительной индустрии, на кафедре механического оборудования БГТУ имени В.Г. Шухова был разработан противоточный спирально-лопастной смеситель периодического действия.

Смеситель состоит из цилиндрического барабана 1, внутри которого консольно установлен лопастной вал 2 и закреплен в подшипниках 9. На этом валу закреплены четыре ряда лопастей. В каждом ряду находится три лопасти, которые повернуты относительно друг друга на  $120^\circ$ . При этом установлены они таким образом, что бы накладывать смешиваемые компоненты на винтовой шнек 4, закрепленный на внутренней стенке барабана. Угол подъема шнека зависит от свойств смешиваемых компонентов. Шнек имеет разрывы в плоскостях вращения лопастей вертикального вала.

Барабан смесителя установлен в подшипнике 10, который в свою очередь закреплен на основании 15. Подшипник своим внешним кольцом закрепляется на днище барабана смесителя и имеет проточку для установки клиновидного ремня 14. В верхней части барабана смесителя закреплена неподвижно крышка 3, которая удерживает вертикальный вал и препятствует выходу перемешиваемых компонентов из барабана смесителя.

Работа смесителя заключается в следующем: перемешиваемые компоненты загружаются через патрубок 7 и попадают внутрь барабана 1. Одновременно включаются электродвигатель 11, приводящий во вращение вертикальный вал через клиноременную передачу 13 и электродвигатель 12, приводящий во вращение смесительный барабан 1 через клиноременную передачу 14. При этом лопастной вал 2 вращается в противоположную сторону вращения барабана 1. А направление вращения барабана смесителя выбирается в соответствии с направлением витков шнека 4. В результате вращения вала лопасти 5 поднимают смешиваемые компоненты и набрасывают их на шнек 4, тем самым перемещая и в вертикальном и в горизонтальном направлении.

Перемещаясь по поверхности шнека, смесь попадает на второй ряд лопастей и, переместившись как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении попадает на среднюю часть шнека и продвигается вверх. Так смесь достигает верхней части барабана смесителя, где лопасти 6, имеющие обратный угол установки, относительно лопастей нижних рядов, срезают движущуюся смесь со

шнека и направляют вниз навстречу основному потоку смеси. После того как смесь перемешалась, она выгружается через нижний люк посредством открывания крышки 8. После разгрузки смесителя процесс повторяется.

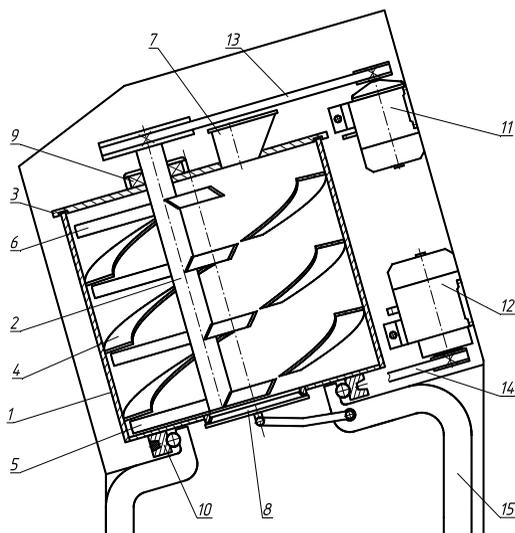


Рис. 1. Схема спирально-лопастного смесителя: 1 - барабан, 2 – лопастной вал, 3 - крышка, 4 - шнек, 5, 6 - лопасти, 7 - патрубок, 8 - крышка, 9, 10 – подшипниковые узлы, 11, 12 – электродвигатели, 13, 14 – клиновые ремни, 15 – основание

Таким образом, предлагаемая конструкция смесителя для перемешивания сыпучих материалов позволяет увеличить степень однородности готового продукта и сократит время перемешивания сыпучих материалов за счет создания движения исходных компонентов смеси как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях внутри барабана смесителя.

#### Список литературы:

1. Несмеянов, Н. П. Стабилизация качества сухих строительных смесей на основе пневмомеханического способа перемешивания / Н.П. Несмеянов, П.С. Горшков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2009. - № 4. – С. 51.
2. Борщев, В. Я. Оборудование для переработки сыпучих материалов / В.Я. Борщев, Ю.И. Гусев, М.А. Промтов, А.С. Тимонин. - М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 208 с.

## ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ПОНИЖЕННОЙ ПЛОТНОСТИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СТЕКОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Никонов А.С.,** мл. научн. сотрудник,  
**Панов Ю.Т.,** д-р техн. наук, профессор  
*Владимирский государственный  
университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых*

Строительная индустрия, как сфера деятельности, требующая постоянного развития, как с точки зрения применяемых технологий, так и с позиции увеличения эффективности материалов, используемых при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

В настоящее время к теплоизоляционным материалам предъявляют высокие требования: они должны соответствовать всем санитарно-гигиеническим нормам, быть экологически чистыми, являться качественными теплоизоляторами, быть способными сохранять эти показатели постоянными на протяжении длительного времени.

Современный рынок теплоизоляционных материалов весьма разнообразен, но не один из них полностью не отвечает вышеперечисленным требованиям. Основными теплоизоляционными материалами используемыми в строительстве являются минеральная вата и пенополистирол, обладающие рядом недостатков.

Минеральная вата подвергается активному воздействию влаги, кислот, щелочей, органических соединений содержащихся в парах воздуха, которые оказывают химическое воздействие на всю структуру.

В результате этого происходит разрушение как связующего, так и самих волокон, что приводит к снижению теплофизических и прочностных характеристик и сокращению срока эксплуатации. Кроме того он горюч.

Беспрепессовый пенополистирол плотностью 25-35 кг/м<sup>3</sup>, легко разрушается от механического воздействия, подвержен термической деструкции и распаду при высокой температуре, что приводит к полной деструкции материала за короткий период эксплуатации.

Перспективным направлением по решению вопросов эффективной тепловой изоляции является разработка вспененных материалов на основе органических композиционных материалов призванных существенно сократить энергозатраты.

Целью данной работы является разработка пористого теплоизоляционного материала с кажущейся плотностью до 80 кг/м<sup>3</sup>

улучшенными эксплуатационными свойствами. Разработка такого материала кроме всего прочего решает вопрос утилизации стеклобоя, являющийся актуальной научно-технической задачей, успешное решение которой может привести к положительным результатам в экономической и экологической областях.

На рынке современных теплоизоляционных материалов пеностекло уникально и обладает неоспоримыми преимуществами перед другими теплоизоляционными материалами.

Пеностекло - высокопористый, неорганический, теплоизоляционный материал, получаемый спеканием тонкоизмельченного стекла в присутствии газообразователя и целевых добавок, представляющий собой вспененную стекломассу.

Благодаря своему составу пеностекло имеет широкий температурный диапазон применения, высокие тепло- и звукоизоляционные свойства, является негорючим, стойким к агрессивным средам, не дает усадки, легко подвергается механической обработке и склеиванию, хорошо сочетается с алюмосиликатными вяжущими (цементными, известково-цементными).

Вследствие чего пеностекло, обладающее уникальной совокупностью свойств, может и должно найти широкое применение в жилищно-коммунальном комплексе, в гражданском и промышленном строительстве, в сельском хозяйстве, в энергетике, химической и нефтехимической отраслях.

Применяемое в настоящее время пеностекло обычно черного или серо-черного цвета, обладает существенным недостатком, ограничивающим его применение в жилищном строительстве - наличие запаха сероводорода. Кроме того минимальная плотность этого материала  $200 \text{ кг/м}^3$ , что связано с использованием в процессе получения пеностекла газообразователя углеродного типа (сажа, кокс, антрацит).

В работе использовался стеклобой листового стекла, размолотого до удельной поверхности  $5000-8000 \text{ см}^2/\text{г}$  и имеющего постоянный химический состав:  $\text{SiO}_2$  - 71,25%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 1,87%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 0,29%;  $\text{CaO}$  - 8,0%;  $\text{MgO}$  - 3,25%;  $3\text{Na}_2\text{O}$  - 15,64%. В качестве газообразователя в работе использовалась смесь газообразователей карбонатного типа (мел, мрамор, известняк) и солей азотной кислоты.

Одним из основных условий получения качественного пеностекла с низкой кажущейся плотностью и теплопроводностью, при сохранении высокой механической прочности, является управление процессом вспенивания путем изменения состава пенокомпозиции, в частности

модификации газообразователя, а также путем регулирования температурного режима процесса получения.

Экспериментальным путем показано, что использование в качестве газообразователя индивидуальных веществ не позволяет получить пеностекло низкой плотности и с качественной структурой. Так использование карбоната кальция в виде тонко измельченного мела позволяет получить материал с плотностью более  $500 \text{ кг/м}^3$ , а применение нитрата натрия удалось добиться плотности материала около  $300 \text{ кг/м}^3$ .

В тоже время использование в качестве газообразователя смеси этих двух веществ позволило получить материал с низкой плотностью.

На рисунке 1 представлена зависимость кажущейся плотности от массовых частей смеси газообразователя при различном соотношении компонентов.

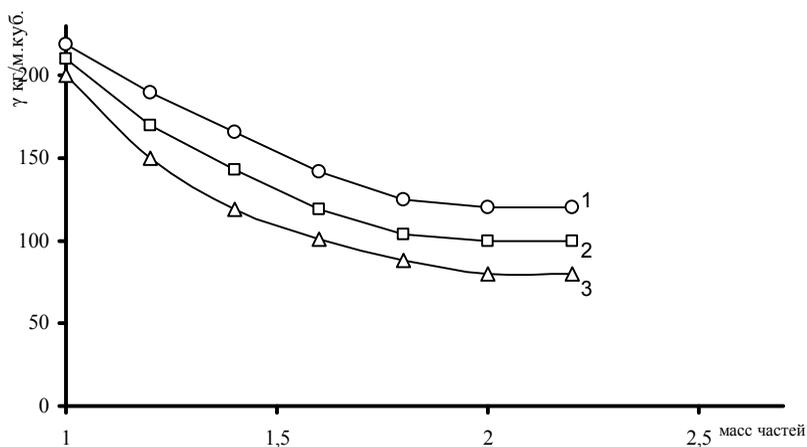


Рис. 1. Зависимости кажущейся плотности пеностекла от количества комбинированного газообразователя при различном соотношении компонентов  
1 - мел :  $\text{NaNO}_3=1,5:1$  ; 2 - мел :  $\text{NaNO}_3=2:1$  ; 3 - мел :  $\text{NaNO}_3=2,7:1$

Как видно из рисунка 1 в этом случае удалось получить материал с мелко пористой равномерной структурой добиться кажущейся плотности менее  $100 \text{ кг/м}^3$ .

Образование ячеистой структуры при вспенивании силикатных материалов связано со взаимодействием двух основных факторов: пиропластическим состоянием нагреваемого до размягчения материала и выделением газов, которые вызывают процесс вспенивания.

Известно, что необходимым условием достижения стабильной ячеистой структуры с ее последующей фиксации в жесткую пеноструктуру является скорость нарастания вязкости, с увеличением которой повышается прочность стенок и ребер ячеек, для пеностекла это условие достигается путем постепенного охлаждения пены и является основным фактором формирования уникальных свойств материала.

Изменяя химический состав стекла, тонкость его помола, применяя модифицированные газообразователи, направленно регулируя режим вспенивания, можно в широких пределах изменять общую структуру и ее характер, следовательно, свойства конечного продукта.

Использование нитрата натрия в качестве водорастворимого газообразователя позволило разработать уникальный метод введения его в композицию в сочетании с карбонатными газообразователями (мел, мрамор, известняк), что в итоге приводит к получению пенокомпозиции с равномерно распределенных в ней комбинированным газообразователем, способствуя получения равномерной структуры материала. На рисунке 2 приведен общий вид разработанного пеностекла.



Рис. 2. Общий вид разработанного пеностекла

Разработанная вспенивающая смесь была использована для получения пеностекла периодическим способом в муфельной печи.

Некоторые свойства разработанного материала в сравнении с производимым в настоящее время материалом представлены в таблице.

Табл. Свойства разработанного теплоизоляционного материала

Наименование показателей	Разработанное	Существующее
Внешний вид	Ячеистый материал белого цвета	Ячеистый материал черного цвета
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	80 – 200	120-300
Прочность на сжатие, МПа	1-3	0,7- 2
Теплопроводности, Вт/м*°С	0,03 - 0,05	0,04 - 0,08
Водопоглощение за 24 часа, % объемные	4	3,2
Рабочий температурный режим, °С	-240 до +600	-250 до +500
Морозостойкость, к-во циклов не менее	100	50

Таким образом, применение разработанной вспенивающей композиции позволяет получать материал по ряду параметров превосходящий известный. Разработанное пеностекло может использоваться в самых различных областях народного хозяйства и в первую очередь в строительстве.

## **СОВРЕМЕННАЯ СХЕМА ОЧИСТКИ БИОГАЗА ОТ ТВЕРДЫХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ПРИМЕСЕЙ**

**Никулин Н.Ю., инженер,  
Кушев Л.А., д-р техн. наук, профессор,  
Пакки В.И., канд. техн. наук, доцент,  
Алифанова А.И., доцент**

*ПП «Белгородские тепловые сети»,  
Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова.*

Ускорение темпов использования ископаемых топлив, особенно нефти и газа, в последнее время актуализирует проблему поиска альтернативных источников энергии. Таковыми являются:

- геотермальные;
- гелиотермальные;
- энергия ветра;
- энергия биомассы.

Одним из перспективных альтернативных источников энергия является энергия биомассы, а именно - биогаза. Это газ, который выделяется при анаэробном брожении органических веществ, в частности - отходов агропромышленного комплекса [1].

Биогаз можно использовать в качестве топлива для оборудования, предназначенного для газообразного топлива.

Теплотворная способность биогазового топлива зависит от содержания в нем метана и составляет 22-24 тыс. кДж/м<sup>3</sup>.

Суммарный потенциальный выход биогаза, который может быть получен из отходов агропромышленного комплекса Российской Федерации, составляет более 25 млрд. м<sup>3</sup>/год.

На сегодняшний день в стране эксплуатируется около 200 биогазовых установок. Самая крупная установка находится Москве (Курьяновские очистные сооружения, 140 тыс. м<sup>3</sup>/сут биогаза), Хабаровске (завод «Балтика», экономия 10 % теплоэнергии в год).

Сейчас по всей территории России ведется строительство биогазовых комплексов. Самые крупные из возводимых объектов находятся в городах Ростов (2,16 млн. м<sup>3</sup>/год), Куйбышев (155 тыс. м<sup>3</sup>/сут биогаза).

Потенциальный выход биогаза в Белгородской области составляет более 700 млн. м<sup>3</sup>/год.

Активное внедрение биогазовых технологий идет и в этом регионе. Введена в эксплуатацию биогазовая установка в селе Поповка Корочанского района, состоящая из трех реакторов общим объемом 600  $\text{м}^3$ . Здесь биогаз использовался в течение нескольких лет только на технологические нужды реактора. Сейчас в связи с увеличением производительности этих установок и передачей газа потребителю проводятся работы по сооружению газгольдеров, предназначенных для сбора и хранения газа.

В настоящее время (сентябрь 2011) вблизи села Лучки Прохоровского района завершается строительство завода по совместному производству электро- и тепловой энергии с использованием биогаза. Завод будет использовать отходы бойни, свиноводческих стоков и кукурузного силоса, поступающих от расположенных неподалеку предприятий. Мощность установки составит 2,4 МВт, объем выработки электрической энергии составит 19,6 млн. кВт·ч, тепловой – 17,2 тыс. Гкал. Объектов с подобными возможностями в нашей стране еще нет [2].

В период 2011-2013 гг. планируется построить 20 крупных биогазовых установок сперва на свиноводческих, затем птицеводческих предприятиях [3].

Основную часть биогаза составляет метан. Доля  $\text{CH}_4$  колеблется в пределах 40 – 70 %. Значительную часть биогаза может составлять углекислый газ: 25-55 %. Остальные элементы, присутствующие в биогазе – вода (до 10 %), азот (менее 5 %), кислород (менее 2 %), водород, сероводород, аммиак (менее 1 %), механические примеси.

Как видно, основную часть газового балласта составляют углекислый газ или оксид углерода (IV), сероводород, вода, механические примеси.

Содержание влаги в газе при его транспортировании и эксплуатации вызывает серьезные затруднения. При определенных внешних условиях (температуре и давлении) влага может конденсироваться, образуя ледяные пробки, кристаллогидраты, а в присутствии сероводорода и кислорода вызывать коррозию трубопроводов и оборудования.

Сероводород очень агрессивен и вызывает коррозию газоиспользующего оборудования. Поэтому необходимо очищать биогаз от серы. Очищенный от серы биогаз почти не имеет запаха. Содержание  $\text{H}_2\text{S}$  в биогазе, поступающем к потребителю, не должно превышать 0,02  $\text{г}/\text{м}^3$  [4].

Содержание углекислого газа нормы не лимитируют, однако по технико-экономическим соображениям в транспортируемом газе оно не должно превышать 2 % [4].

Очистку газа от  $H_2S$  и  $CO_2$  можно осуществить в абсорбере, используя в качестве поглотителя моноэтаноламин ( $C_2H_4NH_2OH$ ) [5].

Твердые механические примеси могут оседать на стенках трубопровода, уменьшая их поперечное сечение, приборов учета газа, быстро выводя их из нормального режима работы.

Для очистки газа от механических примесей до сих пор применяют фильтры с сетчатыми, волосяными фильтрующими элементами. Основной недостаток таких фильтров заключается в необходимости периодической регенерации по мере загрязнения и низкой эффективности очистки, не превышающая 80-90 %.

Представим на рис. 1 трехступенчатую схему очистки биогаза.

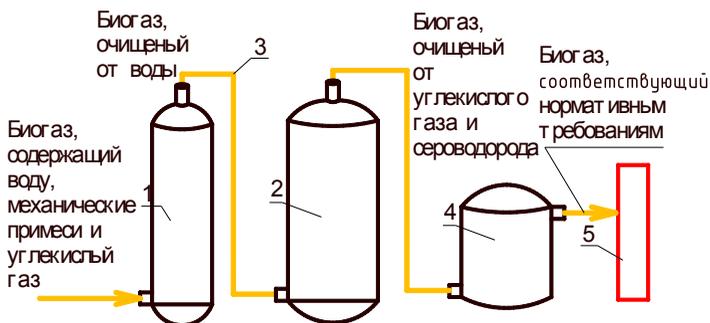


Рис. 1. Трехступенчатая схема очистки биогаза

1, 2 – абсорберы для осушки газа и очистки его от сероводорода и углекислого газа, 3 - газопровод, 4 – фильтр сетчатый, 5 - потребитель газа

Недостаток данной схемы состоит в применении сетчатого фильтра, у которого степень очистки не превышает 90 %, и – двух абсорберов.

На кафедре ТГВ совместно с фирмой «Инкери» разработан фильтр на базе фторопластовых фильтропакетов, позволяющий очищать газ одновременно от влаги и механических примесей (рис. 2) [6].

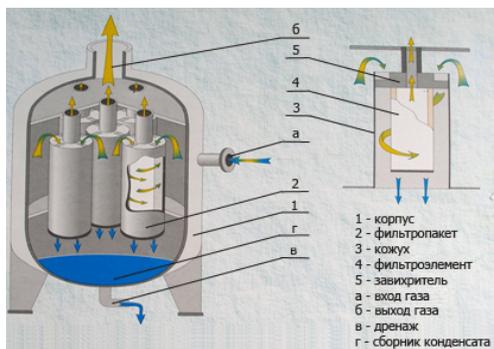


Рис. 2. Фильтр на базе фторопластовых фильтрпакетов  
 1 – корпус, 2 – фильтрпакет, 3 – кожух, 4 – фильтроэлемент,  
 5 - завихритель,  
 а – вход газа, б – выход газа, в – дренаж, г – сборник конденсата

Поток, состоящий из газа с примесями, поступает в фильтр, где происходит закручивание. Благодаря этому пленка жидкости распределяется по всей фильтрующей поверхности и интенсивно отводится с тела фильтрующего элемента, забирая с собой механические примеси до поступления их в фильтроэлемент. Таким образом, поры остаются чистыми.

Фильтр работает в режиме незагрязняемости фильтроэлементов до 5 лет. Фильтр может быть расположен как вертикально, так и горизонтально.

Количество фильтрпакетов зависит от типоразмера фильтрпакета и расхода очищаемого газа.

Предлагаемая схема очистки биогаза представлена на рис. 3.



Рис. 3. Схема очистки биогаза  
 1 - абсорбер, 2 - фильтр на базе фторопластовых фильтрпакетов,  
 3 - газопровод, 4 - потребитель газа

Сначала биогаз поступает в нижнюю часть абсорбера 1, где он очищается от углекислого газа и сероводорода, контактируя с абсорбентом. В качестве поглотителя используется моноэтаноламин. Затем по трубопроводу 3 газ направляется в фильтр, состоящий из фторопластовых фильтропакетов. Здесь происходит очистка газа от механических примесей и влаги. Одновременно происходит и регенерация фильтра. После фильтра газ, по свойствам не отличающийся от природного, поступает потребителю.

Преимущество предлагаемого способа очистки состоит в применении фильтра на базе фторопластовых фильтропакетов. Использование этого фильтра дает возможность совмещения очистки газа от механических примесей и водяных паров в одном аппарате, увеличения срока регенерации фильтра, самоочищения фильтропакета, устойчивость к увеличению нагрузки по жидкости.

В результате имеем двухступенчатую систему очистки - абсорбер (удаление из газа  $H_2S$  и  $CO_2$ ) и фторопластовый фильтр – в отличие от традиционной трехступенчатой, при которой осушка газа, очистка от примесей,  $H_2S$  и  $CO_2$  происходила бы минимум в трех аппаратах.

Применение двухступенчатой системы очистки позволит:

- 1) удалить значительное количество примесей, повысив тем самым теплопроводную способность газа;
- 2) привести состав биогаза к нормативным требованиям;
- 3) снизить затраты на оборудование для очистки биогаза;
- 4) повысить срок службы газоиспользующего оборудования.

#### Список литературы:

1. *Баадер, В.* Биогаз: теория и практик / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
2. [www.waste.uz](http://www.waste.uz)
3. Постановление правительства Белгородской области от 8 июня 2009 г. № 183-пп Белгород «Об утверждении концепции развития биоэнергетики ми биотехнологий в Белгородской области на 2009 – 2012 годы».
4. *Ионин, А. А.* Газоснабжение: учеб. для ВУЗов, 4-е изд., перераб. и доп. / А.А. Ионин. – М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.
5. *Глинка, Н. Л.* Общая химия: учеб. для ВУЗов / Н.Л. Глинка. - М.: Высшая школа, 1985. – 700 с.
6. [www.inkeri.com.ua](http://www.inkeri.com.ua)

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ РАСЧЕТА И СТЕПЕНИ ИЗУЧЕННОСТИ РЕАЛЬНОЙ РАБОТЫ ПОДПОРНЫХ СТЕН

**Октябрь М.М., магистрант**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время (с 1955 г) подпорные стены рассчитывают по двум группам предельных состояний: По первой группе (по несущей способности) выполняют расчеты: проверки устойчивости положения стен против сдвига; устойчивости основания под подошвой стены; прочности скального основания; прочности элементов конструкций и узлов их соединения. По второй группе (по пригодности к эксплуатации) выполняют расчеты: оснований по деформациям и трещиностойкости элементов конструкций.

Все эти современные расчеты и проверки по методике предельных состояний, разработанной в СССР в 50 - 60 годов прошлого столетия, основываются на теориях предельного равновесия Кулона, Кульмана, Понселе, Ребхана, Прокофьева и Соколовского и др.

Упрощенная теория давления грунтов на крутые подпорные стены, начало которой было положено еще в 1773 году Кулоном, дополненная и развитая Понселе (в 1840 г.), Кульманом (в 1866 г.), Ребханом (в 1871 г), Леви (в 1883 г.), А.И. Прилежаевым (в 1908г.), В.П. Скрыльниковым (в 1927 г ), И.П. Прокофьевым (в 1928-1946 гг.) и другими учеными, приводит к наиболее простому решению задачи о давлении грунта на подпорную стену, обеспечивая во многих случаях достаточную точность результатов.

При определении давления грунта на подпорную стенку все исследователи пользовалась теорией сыпучих тел, согласно которой грунт за подпорной стенкой (рисунок 1) под влиянием собственного веса  $G$  стремится сдвинуться вниз по некоторой плоскости  $BC$  - плоскости сползания, производя активное давление  $E$  на плоскость  $AB$  стенки и давление  $S$  на плоскость сползания  $BC$ . По теории Кулона, положенной в основу расчета подпорных стенок, призма сползания  $ABC$  рассматривается как твердое тело (клин), вес которого  $G$  уравнивается реакциями сил  $E$  и  $S$ , вследствие чего силы  $G$ ,  $E$ , и  $S$  пересекаются в одной точке и образуют тем самым замкнутый силовой треугольник  $abc$ . Из этого треугольника видно, что давление  $E$ , искомое для нас при расчете подпорных стенок, зависит от величины  $G$  - веса

призмы, являющейся функцией:  $H$  - высоты подпорной стенки,  $\varphi$  - угла внутреннего трения грунта,  $\alpha$  - угла наклона поверхности земли к горизонту,  $\beta$  - угла наклона плоскости АВ стенки к вертикали,  $\varphi_0$  - угла трения грунта о плоскость АВ.

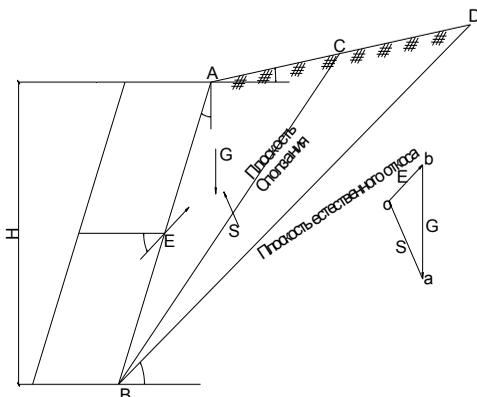


Рисунок 1. Схема подпорной стенки

В сложных случаях, когда одновременно наклонены плоскость подпорной стенки АВ и поверхность грунта, когда требуется учитывать угол (силу трения грунта о подпорную стенку), аналитическое определение величины  $E$  сопряжено с сложными вычислениями. Поэтому в таких случаях пользуются графическим методом. Графическое определение давления грунта  $E$ , так же как и аналитическое, основано на теореме Ребхана и состоит в том, что графически находится угол плоскости сползания, при котором вес призмы сползания и соответствующее ей давление грунта на стенку получают максимальные значения.

Исходя из допущений Кулона, Понселе предложил для случая, когда поверхность сыпучего тела плоскость, построение, непосредственно определяющее положение плоскости сползания. Построением Понселе не только определяется положение плоскости обрушения с наибольшим давлением  $E$ , но оно может служить и для определения величины давления.

Наиболее строгим и общим методом решения задач теории предельного равновесия грунта является метод члена -корреспондента АН СССР В.В. Соколовского, который рассматривает грунт как сплошную несвязную или связную сыпучую среду и принимает, что

среда под влиянием незначительного перемещения подпорной стены приходит в некоторой области за подпорной стеной в предельное напряженное состояние, т.е. что в любой точке этой области, ограниченной некоторой объемлющей поверхностью скольжения, выполняется условие  $\tau = \tau_{np}$ , которое приводит к уравнению т.е.

$$(\delta_z - \delta_x)^2 + 4\tau_{zx}^2 = \sin^2 \varphi \left( \delta_z + \delta_x + \frac{2c}{\cos \varphi} \right)^2.$$

Таким образом, в этой области появляется бесконечное множество поверхностей скольжения, образующих два семейства, из которых одно отвечает максимальному предельному состоянию, а другое - минимальному. Ввиду того, что подпорная стена по всей длине находится в одинаковых условиях работы, для расчета достаточно выделить участок длиной в 1 пог. м, т.е. рассматривать задачу как плоскую относительно деформаций.

В настоящее время многими исследователями выявляются новые подходы для решения этой сложной задачи, но все они исходят из теории Кулона, не изменяя ее сущность и только уточняя ее.

Для обоснования теории давления грунтов на подпорные стены первостепенное значение, как всегда, имеют данные опытов. Первые опубликованные исследования в этой области относятся к 1740 г., однако методика их была еще слишком примитивна для выработки надежных выводов. Более поздние эксперименты (1807-1908 гг.), обработанные А.И. Прилежаевым, позволяют сделать следующие выводы:

- Поверхности скольжения всегда проходят через нижнее заднее ребро подпорной стены. Они могут быть вогнутыми, выпуклыми или плоскими.
- Сползающая призма целиком выделяется из сыпучего массива.
- При одном и том же угле наклона задней грани стены поверхности скольжения тем ближе, чем круче поверхность засыпки.
- Верхние части поверхностей скольжения очень близки к плоскостям.
- При наличии нагрузки, приложенной на поверхности засыпки, объем сползающей призмы и активное давление на ограждение увеличиваются.
- При движении стены в сторону от засыпки происходит постепенное уменьшение и увеличение вертикального давления.

- Угол отклонения давления от нормали к стене почти всегда меньше угла естественного откоса сыпучего тела и не зависит от угла наклона поверхности засыпки.

- Объемный вес, угол внутреннего трения и угол трения засыпки о поверхность стены изменяются во время перемещения стены.

Произведенные И.П. Прокофьевым лабораторные опыты со стенками высотой 72 см позволили установить, что характер движения засыпки оказывается различным в зависимости от того, вращается ли ограждение вокруг нижнего ребра или же перемещается поступательно.

В первом случае сползающая часть засыпки имеет форму клина. Во втором случае происходит оседание всей засыпки с выпиранием ее нижних масс в сторону стенки. В последнем случае деформация засыпки носит промежуточный характер.

И.П. Прокофьев подверг также экспериментальному исследованию стенки с ломаным очертанием задней грани и установил, что в этом случае при сдвиге стенки наблюдается разделение сползающей массы сыпучего тела на две части, из которых одна относится к наклонной верхней грани стенки, а другая, проходящая через нижнее ребро стенки и распространяющаяся на всю толщу сыпучего тела, относится к вертикальной нижней грани и ее продолжению. При перемещениях грунта, состоящего из двух разнородных слоев (песчаного и глинистого), поверхность скольжения имеет явно выраженный выпуклый или вогнутый излом на границе слоев.

На основании ряда опытов с вертикальной стенкой высотой 60 см И.В. Яропольский установил, что величина силы давления песчаной засыпки зависит от перемещения стенки и проходит три характерные стадии. Первая стадия соответствует упругому равновесию засыпки и характеризуется отсутствием сил внутреннего трения. При отсутствии перемещений подпорной стены сила давления на нее составляет

$$Q_o = \frac{\gamma h^2}{2}$$
, где  $\gamma$  - объемный вес засыпки;  $h$  - высота стены. При перемещении стенки в сторону от засыпки давление последней уменьшилось.

Вторая стадия соответствует перемещению стенки на величину порядка размеров песчинок. При этом в засыпке возникают силы внутреннего трения, сопротивляющиеся взаимному сдвигу частиц. Давление, действующее в этой стадии, соответствует активному давлению грунта. При больших перемещениях стены происходит разрыхление засыпки и давление ее стремится к нулю. Аналогичные

опыты со стенкой высотой 2,18м были произведены К. Терцаги. При этом было также выявлено большое влияние плотности засыпки за стенкой на величину давления.

Опыты, поставленные в 1936 г. Г.П. Канканяном с моделью подпорной стены высотой 1,1м, позволили установить, что положение поверхности скольжения, оказавшейся близкой к плоскости, зависит от угла внутреннего трения засыпки, наклона ее поверхности и наклона задней грани стены. При этом центр давления находится от подошвы на высоте от 0,4 до 0,5 высоты стены.

Произведенные В.И. Швеем в 1938 - 1939 гг. опыты с моделями стенок позволили сравнить давление сухого и намывного песка. При этом во всех случаях форма эпюры давлений песка оказалась близкой к треугольной.

С целью выявления характера поверхности скольжения в зависимости от формы и величины перемещений, удерживающей грани подпорной стены, В.В. Синельниковым были проведены лабораторные опыты с условной сыпучей средой, состоящей из множества алебастровых цилиндров. Результаты опытов позволили сделать следующие выводы. При поступательном перемещении стенки поверхность скольжения близка к плоскости, отвечающей решению Кулона. При повороте стенки относительно низа возникает несколько плоскостей скольжения, положение которых плохо согласуется с теорией Кулона. При повороте стенки относительно ее верха поверхность скольжения криволинейна. При этом выявить резкую границу, отделяющую сползающую призму от остальной массы сыпучей среды, не удалось.

В Одесском институте инженеров морского флота Р.В. Лубеновым и П.И. Яковлевым в 1962 г. проведено более 600 опытов определения давления засыпки и многократно прикладываемой нагрузки на неподвижную вертикальную стенку высотой 109 см. Эти исследования показали, что без пригрузки, и с пригрузкой давление грунта на неподвижную стену процентов на 60 больше, чем активное давление по теории Кулона. После нагружения засыпки за подпорной стеной временной нагрузкой и последующей разгрузкой сохраняются большие остаточные давления, которые при повторных приложениях той же нагрузки лишь незначительно увеличиваются по сравнению с давлениями от первого нагружения.

На этом поток исследований реальной работы подпорных стен не остановился. Сейчас весьма актуальным является исследование влияния

армированного грунта в пределах призмы сползания на прочность и устойчивость подпорных стен.

**Список литературы:**

1. *Клейн, Г. К.* Расчет подпорных стен // Г.К. Клейн. - М.: Высшая школа, 1964.
2. *Клейн, Г. К.* Строительная механика сыпучих тел / Г.К. Клейн. - М.: Стройиздат, 1977. - 256 с.
3. *Прокофьев, И. П.* Давление сыпучего тела и расчет подпорных стенок / И.П. Прокофьев. - М.: Стройиздат, 1947.
4. *Швей, В. И.* О давлении грунта на подпорные стенки / В.И. Швей // Журнал технической физики. – М., 1940. - том 10, вып. 7.
5. *Цытович, Н. А.* Механика грунтов / Н.А. Цытович. - М.: Стройиздат, 1979. - 272 с.
6. Guide to retaining wall design. Hong Kong: Geotechnical control office, Engineering development department, 1982.

## К УТОЧНЕНИЮ КЛАССИФИКАЦИИ ПОДПОРНЫХ СТЕН

**Октобер М.М., магистрант**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

В процессе деятельности строительство часто сталкивается с ситуацией, когда грунтовый массив сам удержаться в равновесии не может и возникает необходимость его подпора. Эти задачи возникают при строительстве на участках с крутым естественным уклоном, со сложным и разнообразным рельефом, при устройстве транспортных сооружений в выемках или на насыпях, при укреплении бортов котлованов и т.п. Подпорные стенки являются важнейшими элементами шлюзов, рыбопропускных и рыбозащитных берегоукрепительных и оборонительных сооружений. Они бывают в виде массивных стен, тонкостенных и легких шпунтовых ограждений различной конструкции.

В последнее время появились новые типы подпорных стен, отличающиеся значительно меньшей материалоемкостью, применением новых конструкционных и синтетических материалов. Поэтому расширение и совершенствование существующей классификации подпорных стен являются актуальным. В связи со значительным разнообразием видов, форм, конструкций и материалов применяющихся подпорных стен их исчерпывающая классификация чрезвычайно затруднительна. Для облегчения ее упорядочения в качестве основных целесообразно принять уже устоявшиеся обозначения и термины. Подпорной стеной является сооружение, удерживающее грунт от обрушения в откосах насыпей и выемок. Грань стены, обращенная в сторону грунта, называется задней, грань, обращенная в противоположную сторону, передней. Будем различать следующие формы свободной поверхности грунта за подпорной стенкой: горизонтальная; поднимающийся или падающий откос; полукотос; ломаная или не спланированная поверхность.

Теперь классификация подпорных стенок может быть наиболее верно проведена по следующим признакам:

- По назначению будем разделить подпорные стены на стены, поддерживающие насыпи, и стены, ограждающие выемки.
- По характеру работы - на стены, отдельно стоящие, и стены, связанные с примыкающими сооружениями.

- По гидрогеологическим воздействиям на стены, не подвергающиеся давлению воды, и гидротехнические.

- По высоте - на низкие высотой до 10 м, средние - высотой от 10 до 20 м и высокие - высотой более 20 м.

- По материалу - из железобетона, бетона, бутобетона, бутовой или кирпичной кладки, деревянных или металлических конструкций. В последнее время и, особенно, в зарубежной практике все шире применяются подпорные стены с использованием современных синтетических материалов.

- По способу возведения подпорные стенки бывают монолитными и сборными.

- По наклону задней грани - на стены крутые, пологие и лежащие. При этом крутые стены могут иметь прямой или обратный уклон.

- По принципу работы - на стены массивные, полумассивные, тонкоэлементные и тонкие, разделение на которые требует определенного пояснения.

Массивными подпорными стенами считаются стены, устойчивость которых в основном обеспечивается собственным весом, а их материал - бетон, железобетон, бутовая или кирпичная кладка испытывает преимущественно сжимающие напряжения. В зависимости от формы поперечного сечения - на прямоугольные, трапециевидные с наклонной задней или передней гранью, наклоненные в сторону засыпки, со ступенчатой задней гранью, с разгрузочной площадкой и др. Полумассивные - это стены, устойчивость которых обеспечивается не только собственным весом, но и весом грунта, лежащего на фундаментной плите. Такие стены обычно выполняются из железобетона, в котором растягивающие усилия воспринимаются стальной арматурой. Тонкоэлементные подпорные стены обычно состоят из связанных между собой железобетонных плит, одна из которых является горизонтальной /фундаментной/, а другая - вертикальной или наклонной. Устойчивость тонкоэлементных подпорных стен в основном обеспечивается весом грунта над фундаментной плитой и лишь в небольшой степени собственным весом железобетонных элементов. Они получили наиболее широкое распространение в строительстве. Такие стены могут выполняться с разгрузочными площадками, фундаментные плиты могут изготавливаться горизонтальными, для увеличения сопротивления сдвигу - наклонными и с шипом. По конструкциям уголкового подпорные стены могут быть выполнены монолитными, сборно -

монолитными, а также сборными. Сборные уголкового типа стены могут изготавливаться заводским способом - серийно и высокого качества. Сборные уголкового типа подпорные стены позволяют экономить время строительства, улучшить качество и контроль изделий. Хорошо изученным вариантом уголкового типа подпорных стен являются стены-оболочки. Они состоят из лицевой плиты в форме оболочки и фундаментной плиты, которая может быть плоской или в виде оболочки. В уголкового типа стенах наиболее целесообразно использовать оболочки, момент сопротивления сечения которых возрастает сверху вниз - в соответствии с ростом эпюры изгибающих моментов. Этим свойством обладают оболочки типа гиперболического параболоида и коноида. Наряду с гиперболическими параболоидами и коноидами, являющимися оболочками двойной кривизны, предложены более простые формы оболочек - складчатые, которые не обладают указанным свойством изменения момента сопротивления, но более технологичны при изготовлении, так как состоят из отдельных плоских плит. Необходимо отметить, что во всех без исключения случаях замены плоскостных конструкций железобетонных подпорных стен на пространственные достигается существенный технико-экономический эффект, заключающийся не только в резкой сокращении расхода материалов (особенно арматурной стали), но и в снижении трудоемкости строительно-монтажных работ и общей стоимости возведения стен. К тому же, такие подпорные стены обладают визуальной привлекательностью лицевой поверхности.

Массивные, полумассивные и тонкоэлементные подпорные стены относятся к категории гравитационных. В отличие от них тонкие стены имеют небольшой вес и их устойчивость обеспечивается защемлением стен в основании.

В отдельную категорию входят сейчас подпорные стены с армированным грунтом, состоящие из тонкоэлементных сборных лицевых плит /вертикальных или наклонных/ и армированного металлическими стержнями примыкающего грунта. Подпорные стены из армированного грунта - Это подпорные стены с лицевыми элементами в виде малоразмерных сборных плит или оболочек из металла, железобетона, бетона или пластмасс и заанкеренных в насыпной грунт с послойным уплотнением с помощью гибких полосовых анкеров, сеток или сплошных мембран. Хотя они получили название конструкций из армированного грунта, было бы правильнее сказать, что они являются стенами с применением армированного грунта и сборных лицевых плит. Развиваются методы армирования

насыпного грунта с последующим уплотнением, в том числе послойное армирование полосами или мембранами, и дисперсное армирование добавкой в грунтовую смесь синтетических волокон. Преимущества армирования заключаются в возможности все большего включения в работу объема грунта. Подпорные стены из армированного грунта могут являться альтернативным вариантом практически во всех случаях применения традиционных подпорных стен различных конструкций.

Наиболее эффективной модификацией тонкоэлементных являются контрфорсные подпорные стены, состоящие из фундаментной плиты и вертикальной или наклонной лицевой конструкции, для увеличения жесткости и устойчивости которых устраиваются вдоль контрфорсы или вертикальные поперечные ребра. Лицевая конструкция воспринимает горизонтальное давление грунта и передает его на контрфорсы. Контрфорсы, в свою очередь, передают нагрузки на фундаментную конструкцию. Традиционно, такие подпорные стены выполнялись из железобетона с плотной лицевой частью и массивными контрфорсами. Более экономичными решениями по расходу бетона и стали являются контрфорсные подпорные стены, в которых в качестве лицевой конструкции используются различной формы оболочки или мембраны, а контрфорс представляет собой буронабивную сваю выше уровня грунта, две секущиеся сваи или сваю с уширением ствола ниже уровня грунта. В контрфорсных подпорных стенках используются цилиндрические, параболические и коноидальные оболочки. Эти типы оболочек в направлении волны (то есть в направлении пролета между соседними контрфорсами) работают преимущественно на сжатие с небольшими крайними моментами, что позволяет практически исключить рабочую арматуру и значительно снизить толщину оболочки. Интересны коноидальные оболочки, стрела подъема которых возрастает сверху вниз пропорционально росту активного давления грунта, поэтому оболочка равнопрочна во всех сечениях. Наряду с рядом типов подпорных стен в форме оболочек предложено выполнение биопозитивных подпорных стен, то есть стен с лицевыми плитами в форме оболочек, имеющих горизонтальные площадки с открытым грунтом, в котором высаживают вьющиеся растения, и таким образом получают озелененную вертикальную поверхность фасада. Известно, что именно зеленая поверхность не вызывает усталости глаз водителей на автодорогах. Аналогично, как свидетельствуют некоторые исследователи, воздействует и немонотонная лицевая поверхность подпорных стен-оболочек.

Тонкие (консольные) подпорные стены, устойчивость которых обеспечивается защемлением их в основание. К этому типу относятся шпунтовые подпорные стены, а также возведенные методом «стена в грунте». Для уменьшения глубины заложения таких стенок, размеров их сечения, а также для повышения их жесткости применяются грунтовые анкеры различных конструкций, либо армирование грунта обратной засыпки, что снижает боковое давление грунта на стену.

Предложенная классификация далеко не исчерпывают всего существующего многообразия конструкций. Она может быть уточнена с совершенствованием старых и появлением новых конструкций. Правильное отнесение конструктивного решения подпорной стенки к той или иной категории современной классификации позволит увеличить надежность его расчета.

#### **Список литературы:**

1. *Клейн, Г. К.* Расчет подпорных стен // Г.К. Клейн. - М.: Высшая школа, 1964.
2. *Клейн, Г. К.* Строительная механика сыпучих тел / Г.К. Клейн. - М.: Стройиздат, 1977. - 256 с.
3. *Прокофьев, И. П.* Давление сыпучего тела и расчет подпорных стенок / И.П. Прокофьев. - М.: Стройиздат, 1947.
4. *Швей, В. И.* О давлении грунта на подпорные стенки / В.И. Швей // Журнал технической физики. – М., 1940. - том 10, вып. 7.
5. *Цытович, Н. А.* Механика грунтов / Н.А. Цытович. - М.: Стройиздат, 1979. - 272 с.
6. Guide to retaining wall design. Hong Kong: Geotechnical control office, Engineering development department, 1982.

## ЭФФЕКТ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ ОБОЙМЫ В ТРУБОБЕТОНЕ

**Панченко Л.А., канд. техн. наук, доцент**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Традиционные методы усиления конструкций, такие, как предварительное натяжение арматуры и упрочнение стальными плитами, имеют недостатки из-за коррозии стали и большого веса. Прогрессивными композиционными материалами являются полимеры, армированные волокнами (ПАВ). Их можно использовать для ограничения бетонных колонн, в результате чего повышается прочность на сжатие и вязкость, возрастает долговечность. Использование ПАВ в качестве усиления бетонных колонн получило распространение в Европе, Японии и Северной Америке. ПАВ-оболочка успешно использовалась для реконструкции бетонных колонн. Однако ПАВ используются и в новых конструкциях бетонных колонн. Заполненные бетоном ПАВ-трубы производятся на строительной площадке или полигоне. Трубы выступают в качестве опалубки, защитной оболочки, ограничителя, усиления, противодействуя срезу и изгибу. Так как использование волокнистых композитов для ограничения бетона является относительно новым подходом, теоретические работы в этой области все еще малочисленны, а модели, применявшиеся первоначально для поперечного усиления стальной, не совсем применимы при усилении ПАВ. Поведение бетона, ограниченного композитным материалом, отличается от поведения бетона, ограниченного сталью.

Для однонаправленных композитов характерна линейная зависимость «напряжение-деформация» вплоть до разрушения, максимальные напряжения и деформации намного выше предела текучести стали. Ограниченный композитом бетон достигает одновременно своих наибольших осевых напряжений и деформаций, в то время как ограниченный сталью бетон медленно теряет прочность с увеличением осевой деформации и вследствие текучести стали. Кроме того, радиальные деформации при максимальном осевом напряжении намного выше в ограниченном композитом бетоне, чем в ограниченном сталью бетоне.

Существующие модели обоймы более подходят для бетона, ограниченного сталью, чем, ограниченного композитом. Применение

этих моделей к бетону, ограниченному ПАВ-трубами, может привести к переоценке прочности, что приводит к ненадежному проекту.

Воздействия окружающей среды, такие как низкие температуры, радиация и высокая влажность могут значительно нарушить конструкционную целостность и долговечность бетонных колонн. Чтобы избежать этого, можно укладку бетона производить в несъемную опалубку в виде ПАВ-трубы. Достигается двойной эффект: защита бетона от резких воздействий среды и увеличение прочности и вязкости колонн, обусловленное обоймой. Как следствие, вытекает дополнительная экономия материалов вследствие сокращения площади поперечного сечения при заданной проектной нагрузке, а также использования ПАВ-труб в качестве опалубки.

В настоящее время бетонные колонны большей частью усиливаются продольными стальными стержнями с поперечными связями или спиралями. Бетон внутри спиралей или связей ограничен в боковом направлении. Стальные трубы используются в бетонных колоннах как изначальное усиление вместо продольных стальных стержней. Проведены обширные исследования бетонных колонн в стальной обойме. Экспериментальные исследования показывают, что в заполненных бетоном стальных трубах наблюдается довольно малое взаимодействие между бетоном и сталью. Существуют две причины такого явления. Во-первых, бетон в большом диапазоне напряжений имеет меньший коэффициент Пуассона, чем сталь, и, следовательно, отделяется от трубы, когда оба материала испытывают осевую деформацию. Во-вторых, усадка бетона вызывает расслаивание на границе раздела двух материалов при любом нагружении. В результате такие колонны разрушаются вследствие продольной текучести стали, если предел текучести меньше, чем 400 МПа, или вследствие дробления бетона, если предел текучести выше, чем 530 МПа.

В работе [1] предложено использование пластмассовых труб для оценки влияния ограничения на прочность бетона на сжатие. Были использованы два типа труб: поливинилхлоридные и акрилонитрилбутадиенстироновые. При ограничении прочность бетона в образцах короткой колонны увеличилась в 3,3 раза, а предельная деформация увеличилась в еще большей степени. В образцах средней длины и длинных колоннах увеличение прочности и вязкости было меньшим. Форма разрушения коротких и средней длины колонн была типичным проявлением среза с углом плоскости разрушения приблизительно  $45^\circ$ . Разрушение коротких и средней длины

колонн было вязким, в то время как разрушение длинных колонн было с потерей устойчивости.

В работе [2] рассмотрено поведение бетона, помещенного в ПАВ-трубу. Четыре типа стекловолокон были использованы в слоях ПАВ, число которых варьировалось от 1 до 5. Предельная прочность и предельная деформация бетона возрастала с увеличением числа слоев ПАВ. Формой повреждения образцов было одновременное разрушение бетона и обоймы. Подобные экспериментальные исследования представлены в работе [3]. Были использованы полимеры, армированные стеклянными и углеродными волокнами, а число слоев ограничивалось одним, тремя и пятью. Предельная прочность и предельная деформация повышались с числом слоев ПАВ. Бетон, ограниченный трубой из полимера, армированного углеродными волокнами, показал более высокую прочность, а ограниченный трубой из полимера, армированного стеклянными волокнами, имел более высокую деформативность. В работе [4] описаны испытания труб из ПАВ, заполненных бетоном. Использовались стеклянные волокна при их содержании в бетоне 1, 2, 4 и 6 процентов. Было установлено, что увеличение прочности бетона, ограниченного композитом, зависит как от прочности, так и от жесткости волокон. Напряжение бетона возрастало с увеличением жесткости обоймы, а вязкость, наоборот, снижалась.

Снижение жесткости бетона, ограниченного ПАВ-трубой, анализируется в работе [5]. ПАВ-трубы, заполненные бетоном, испытывались на циклическое нагружение. Были использованы стекловолоконные, а число слоев ПАВ было 5, 10 и 14. Форма разрушения образцов была подобной форме для образцов при монотонном нагружении, а снижение жесткости было не столь существенным, как для бетона в стальной обойме.

Большая часть моделей, использованных для определения зависимости «напряжение-деформация» ограниченного бетона, были предложены первоначально применительно к стальным спиралам и поперечным связям. Когда же эти модели применялись для бетона, ограниченного оболочкой или трубой из волокнистых композитов, определяемые характеристики не соответствовали действительности. Это объясняется различием в поведении между сталью и ПАВ. Сталь – упруго-пластический материал, в то время как ПАВ – линейно-упругий материал. Кроме того, существующие модели не отражают радиальную деформацию.

В работе [6] предложено введение эмпирической зависимости между осевыми и радиальными деформациями. Использована концепция баланса энергии для вычисления предельной деформации.

В работе [4] для определения радиальной деформации предложена модель, основанная на концепции внутреннего трения. Зависимость между осевой и радиальной деформациями представлена как функция жесткости композита. Очевидно, нелинейный участок кривой не связан с модулем упругости композита, а контролируется давлением ограничения, развитым в трубе. В работе [7] отмечается, что наклон второго участка кривой «напряжение-деформация» контролируется коэффициентом эффективности ограничения  $k_1$ . Хотя модель представляет приемлемое определение диаграммы «напряжение-деформация» бетона, ограниченного ПАВ, она содержит усложненную процедуру.

Эффект ограничения.

Ограничение трубой сдерживает поперечное расширение бетона при одноосном сжатии. При этом бетон находится в состоянии трехосного сжатия. Этому напряженному состоянию соответствует увеличение прочности на сжатие в связи с уменьшением напряжений сдвига и подавлением зарождения трещин в бетонном ядре.

В работе [8] прочность и предельная продольная деформация ограниченного бетона, испытывающего трехосное сжатие, выражены простыми зависимостями:

$$\sigma_{cc}^* = \sigma_{co}^* + k_1 \sigma_{con}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_{cc}^* = \varepsilon_{co}^* \left( 1 + \frac{k_2 \sigma_{con}}{\sigma_{co}^*} \right), \quad (2)$$

где  $\sigma_{cc}^*$  – предел прочности ограниченного бетона;  $\varepsilon_{cc}^*$  – соответствующая ему деформация при боковом давлении  $\sigma_{con}$ ;  $\sigma_{co}^*$  и  $\varepsilon_{co}^*$  – предел прочности и соответствующая ему деформация неограниченного бетона;  $k_1$  и  $k_2$  – определенные экспериментально коэффициенты ( $k_1 = 4,1$ ;  $k_2 = 5k_1$ ). Применение зависимостей (1) и (2) для бокового армирования стальной трубой к армированию ПАВ ограничивается

указанными выше причинами. В результате получим несоответствие между экспериментальными и теоретическими данными, особенно для деформации.

Для определения прочности стеклополимерных труб, заполненных бетоном, предложены зависимости [2]:

$$\sigma_{cc}^* = \sigma_{co}^* \left[ 1 + 4,1 \frac{\sigma_{com} t}{d \sigma_{co}^*} \right], \quad (3)$$

$$\varepsilon_{cc}^* = 0,002 + 0,001 \frac{E_{com} t}{d \sigma_{co}^*}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{com}$  – прочность на растяжение композита толщиной  $t$  вокруг бетонного ядра диаметром  $d$ ,  $E_{com}$  – модуль упругости композита в тангенциальном направлении. В работе [9] использованы формулы (3), (4) для определения поведения цилиндров, ограниченных арамидными композитными лентами, обвитыми стеклянными волокнами, и оболочками, выполненными из стеклоарамида. Установлено, что обе модели были справедливы для определения предела прочности, но недооценивают деформацию бетона, ограниченного ПАВ.

#### Список литературы:

1. Kurt, C. E. Concrete-filled structural plastics columns / C.E. Kurt // ASCE. V. 104. – 1978. – №1. – P. 55–63.
2. Ahmad, S. H. Stress-strain curves of concrete confined by spiral reinforced concrete / S.H. Ahmad, S.P. Shah // ACI Journal. V. 79. – 1982. – №6. – P. 484–490.
3. Fardis, M. N. Concrete encased in fiberglass-reinforced plastic / M.N. Fardis, H. Khalili // ASI Journal. V. 78. – 1981. – № 6. – P. 440– 446.
4. Miller, M. A. FRP preprags as external reinforcement for concrete cylinders: Research report / M.A. Miller. – University of Bethlehem, 1994. – 92 p.
5. Harmon, T. The effect of confinement stiffness on confined concrete: Nonmetallic (FRP) for concrete structures / T. Harmon // E&FN. – 1995. – №8. – P. 584–592.
6. Mirmiran, A. Behavior of concrete columns confined by fiber composites / A. Mirmiran, M. Shahamy // Journal of Structural Engineering, ASCE. V. 123. – 1997. – № 5. – P. 583–590.

7. *Kargahi, M.* Fiber reinforced plastic (FRP) shell as external reinforcement for concrete columns: MS thesis / M. Kargahi; University of Central Florida. – Fla., 1995. – 32 p.
8. *Cusson, D.* Stress-strain model for confined high-strength concrete / D. Cusson, P. Pualtre // Journal of Structural Engineering, ASCE. V. 121. – 1995. – №3. – P. 468–477.
9. *Richard, F. E.* A study of failure of concrete under combined compressive stresses / F.E. Richard, A. Brandtzaeg, R.L. Bown // Bulletin / University of Illinois. – Illinois, 1928. – №190. – 72 p.
10. *Nanni, A.* FRP jacketed concrete under uniaxial compression / A. Nanni, N.M. Bradford // Construction and Building Materials Journals. V9. – 1995. – № 2. – P. 115–119.

## ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЕЁ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

**Подольский В.П., д-р техн. наук, профессор,  
Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доцент**  
*Воронежский государственный  
архитектурно-строительный университет*

До недавнего времени в России не применяли специальных технологий восстановления работоспособности эксплуатационного состояния искусственных покрытий. Считалось, что цементобетонные покрытия имеют срок службы 25-30 лет и почти не требуют затрат на ремонт. Как правило, выполнялись только капитальные ремонты посредством устройства дополнительных слоев усиления старых искусственных покрытий. Несвоевременное выполнение, а чаще всего, не выполнение текущего ремонта приводили к накоплению значительного количества дефектов уже в первые годы эксплуатации покрытий и резкому снижению их эксплуатационного состояния. В этом случае в десятки раз увеличивалась стоимость ремонта и возрастала сложность выполнения ремонтных работ.

Рассмотрим теперь эффективность новых технологий с точки зрения стоимости жизненного цикла. Чтобы охарактеризовать состояние дорожного покрытия и его изменение в процессе службы, используют оценку эксплуатационного состояния PCI (Pavement Condition Index), выраженную в баллах.

Пятибалльная система оценки эксплуатационного состояния PSI (Present Serviceability Index) была разработана в результате проведенных в 1956–1960 гг. испытаний дорожных одежд на полигоне Американской Ассоциации государственных дорожных служащих (AASHO – в настоящее время – дорожно-транспортных служащих – AASHTO). Испытывали несколько сотен конструкций дорожных одежд движением седельных тягачей с полуприцепами. Группа экспертов каждые две недели оценивала состояние покрытия на каждой опытной секции с потребительской точки зрения.

$$PCI(t) = 100 \times \Phi \left( \frac{1}{C} \left[ 1 - \left( \frac{t}{T} \right)^{\frac{1}{b}} \right] \right)$$

где  $t$  – время, по истечении которого определяется этот показатель;  $T$  – время до снижения первоначальной оценки вдвое, зависящее от

конструкции дорожной одежды, природных условий ее работы и интенсивности движения, приведенной к расчетной осевой нагрузке;  $b$  – постоянная, характеризующая сопротивление материала повторным нагрузкам;  $c$  – коэффициент вариации, характеризующий разброс запаса прочности относительно его среднего значения.

Эксперты не только не имели информации о конструкции дорожной одежды, осевой нагрузке и общем количестве проездов по данной секции, но и никаких измерительных приборов. Им разрешалось пройти по участку, после чего эксперт выставлял оценку и передавал ее руководителю комиссии. Для этого каждый эксперт имел две карточки: на одной он отмечал балл от 1 до 5, а на другой – отвечал на вопрос, приемлема ли дорога для дальнейшей эксплуатации (возможны были три ответа: «да», «нет» или «не решено»). Оказалось, что по мере увеличения числа проездов оценка эксплуатационного состояния (среднее значение PSI) уменьшалась от 4–5 до 1,5–2 баллов. Выставляя PSI = 2,5, половина экспертов считала состояние покрытие неприемлемым, а при PSI = 1,5 все члены комиссии считали дальнейшую эксплуатацию дороги невозможной. Так пришли к выводу, что почти новое дорожное покрытие имеет оценку между 4 и 5, капитальный ремонт нужен, когда PSI менее 2,5, а при оценке ниже 1,5 требуется коренное переустройство дорожной одежды, включая слои основания.

На сегодняшний момент в России специалистами фирмы «Ирмаст-Холдинг» разработана новая концепция оценки эксплуатационного состояния покрытия и последующего проведения ремонтных мероприятий.

Замысел данной концепции, основан на продлении эксплуатационно -технического ресурса работоспособности покрытий, путем периодического выполнении ремонтных работ, направленных на устранение возникающих повреждений, не допуская их развития и накопления.

Необходимость внедрения данного метода можно увидеть, проанализировав изменение показателя эксплуатационного состояния дорожного покрытия, которое можно представить в виде кривой износа покрытия (рисунок 1). По оси ординат откладываются показатели эксплуатационного состояния покрытия  $S$  по пятибалльной шкале, по оси абсцисс откладывается срок службы покрытия  $t$ . Износ покрытия при  $t = 0$  (новое покрытие) нулевой.

Как показывает опыт эксплуатации дорог с цементобетонным покрытием, примерно через 22 лет ( $t = 22$ ) на покрытии накопится такое

количество дефектов, что показатель эксплуатационного состояния достигнет закритической отметки  $S = 2$ . Проведение ремонтных работ позволит повысить оценку  $S$  до максимально возможной для покрытия в этом возрасте  $S = 4$  (траектория 5 - 4).

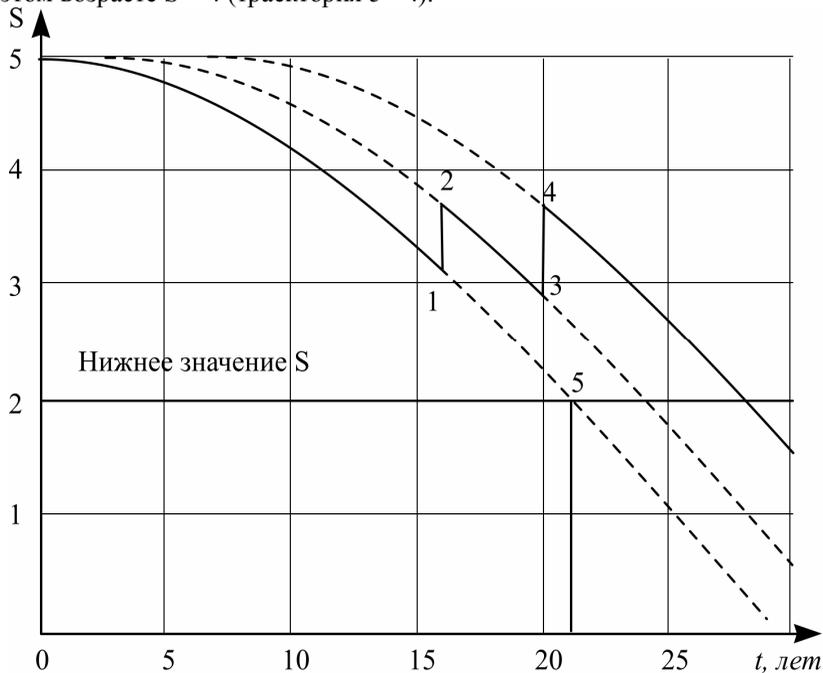
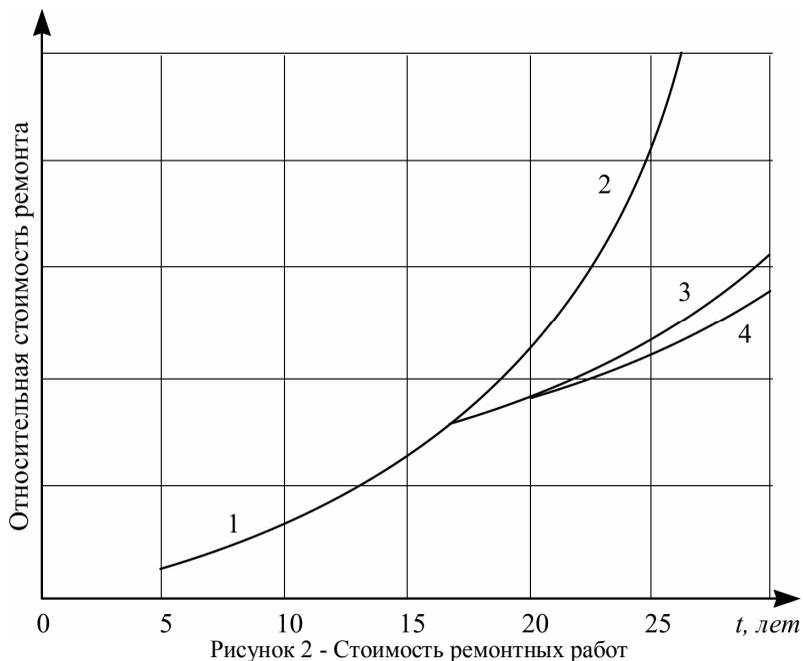


Рисунок 1 - Прогнозирование срока службы покрытия

Эти мероприятия позволят увеличить срок службы покрытия, как это видно из графика, примерно на 8 лет. Однако этого же эффекта, но с меньшими финансовыми затратами, можно было достигнуть, проведя ремонт покрытия при достижении им оценки  $S = 3$ . На графике это решение отмечено траекториями 1 - 2 и 3 - 4. Если принять стоимость ремонта по траектории 1 - 2 за 100 %, то суммарные затраты на проведения ремонтов в точках 1 и 3 (траектории 1 - 2 ... 3 - 4) составят 168 %. Эта цифра получена с учетом дисконта, связанного с отсроченным на 4 года вложением средств во второй ремонт. Более крупные ремонтные мероприятия по устранению дефектов, накопившихся за 20 лет эксплуатации, (траектория 5 - 4) обойдутся в 1093 % стоимости.

Очевидно, что стоимость комплекса работ, объединенных понятием «текущий ремонт», много меньше затрат на капитальный ремонт (в 8 -12 раз), а продление срока службы может быть не меньшим - до 8 лет.



Затраты на эксплуатационное содержание и ремонт цементобетонных покрытий могут быть весьма небольшими, если эти мероприятия проводятся своевременно, правильно проведена диагностика и определены технические решения. Стоимость «отложенного» ремонта возрастает пропорционально времени отсрочки (рисунок 2). Необходимость в текущем ремонте при его невыполнении перерастает в требование проведения планового ремонта. Придется ликвидировать дефекты на 2 стадии их развития (рисунок 3).

Это дороже в 4 - 5 раз. Ремонт дефектов на 3 стадии развития будет стоить в 16 раз больше, чем на 1 стадии.

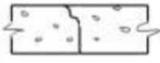
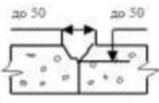
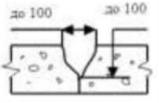
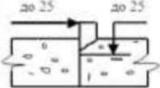
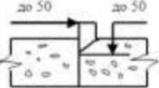
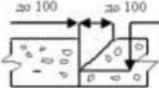
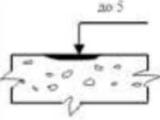
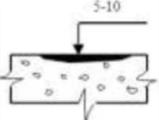
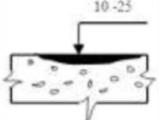
Стадия развития дефектов	I	II	III
ТРЕЩИНЫ			
СКОЛЫ КРОМОК			
ШЕЛУШЕНИЕ БЕТОНА			

Рисунок 3 - Развитие основных дефектов

Таким образом, очевидно, что в условиях дефицита средств необходимо иметь с финансовой и технической точек зрения эффективную программу продления ресурса искусственных покрытий базирующуюся на оценке эксплуатационного состояния дорожной конструкции на всех этапах её жизненного цикла.

#### Список литературы:

1. Ушаков, В. В. Автомобильные дороги. Ремонт цементобетонных покрытий автомобильных дорог. Обзорная информация. - М.: МАДИ, 2002. - № 6. - 41 с.

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕСТКИХ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОЗИЦИИ ТЕОРИИ РИСКА**

**Попов А.Н., канд. техн. наук, доцент,  
Шашков И.Г., инженер**

*Военный авиационный инженерный университет*

Основой эксплуатации бетонных аэродромных покрытий, обеспечивающей регулярность и безопасность работы авиационной техники, является система планово-предупредительного ремонта. Такая система предусматривает выполнение работ по восстановлению эксплуатационных качеств аэродромных покрытий не при наличии неисправностей, а с целью предупреждения их возникновения. Главным содержанием единой системы планово-предупредительного ремонта сооружений аэродромов являются осмотры, проводимые в заданные сроки, с составлением заключения о техническом состоянии.

На практике в зависимости от типа покрытия применяют различные российские и зарубежные методики оперативной оценки технического состояния аэродромного покрытия. Общим недостатком этих методов является возможность оценки состояния покрытия только на момент мониторинга, что не позволяет спрогнозировать изменение технического состояния покрытия во времени. Предлагаемый метод основан на принятом в 2002 году Федеральном законе № 184-ФЗ «О техническом регулировании», в котором устанавливается общая для всех объектов характеристика - «оценка степени риска».

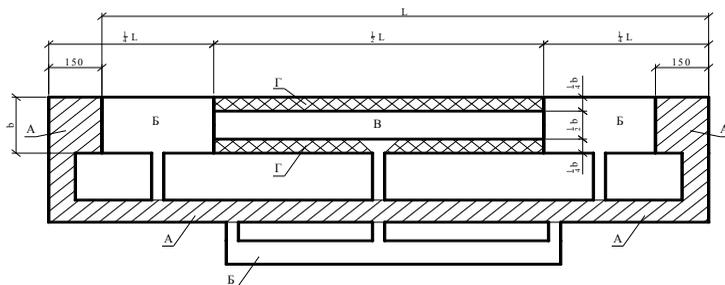
Авторами работы предлагается производить оценку состояния аэродромного покрытия по допустимому уровню надежности с учетом степени риска, опираясь на новые принципы технического регулирования и основные положения теории надежности и теории риска.

Объектом технического регулирования в Федеральном законе № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» являются здания и сооружения любого назначения (в том числе входящие в их состав сети инженерно-технического обеспечения и системы инженерно-технического обеспечения), а также связанные со зданиями и с сооружениями процессы проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации (сноса).

Аэродромные покрытия, как результат строительства, представляющий собой линейную строительную систему, имеющую

наземную части, состоящую из несущих строительных конструкций, следует относить к сооружениям с повышенным уровнем ответственности, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям.

В соответствии с требованиями СНиП 32-03-96 «Аэродромы» покрытия аэродромов по степени воздействия нагрузок воздушных судов и несущей способности подразделяются на группы участков (рисунок 1).



А – магистральные РД и концевые участки ИВПП; Б – участки ИВПП, примыкающие к концевым ее участкам, вспомогательные и соединительные РД; МС, перроны и другие аналогичные площадки для стоянки воздушных судов; В – средняя часть ИВПП; Г – краевые по ширине участки в средней части ИВПП

Рисунок 1 – Группы участков аэродромного покрытия

Основные положения Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» могут быть применены для классификации покрытий аэродрома по уровню ответственности:

- повышенный – участки Б (участки ИВПП, примыкающие к концевым участкам);
- нормальный – участки А, Б (места стоянки воздушных судов), В, Г;
- пониженный – участки Б (выводные и соединительные РД).

В таблице 1 приведена классификация линейных сооружений аэродромов, не противоречащая действующему законодательству в Российской Федерации, с учетом:

- уровней ответственности и коэффициентов надежности по ответственности;
- минимальных уровней надежности аэродромных покрытий;
- недопустимого риска и коэффициента вариации качества аэродромного покрытия.

Для определения надежности участков аэродромного покрытия, классификация которых представлена на рисунке 1, используется зависимость:

$$P(t) = 1 - \frac{N_{oi}}{N_0} \geq P_{дон}, \quad (1)$$

где  $N_{oi}$  - количество отказавших плит;  $N_0$  - общее количество плит;  $P_{дон}$  - допустимое значение надежности.

Следовательно, для вычисления надежности участка покрытия необходимо определить количество дефектных плит  $N_{oi}$ .

Дефектность плиты определяется наличием дефектов и степенью их развития. Точность оценки эксплуатационного состояния зависит от перечня дефектов, подлежащих анализу. Методом экспертных оценок, проведенный специалистами по эксплуатации аэродромов, определен перечень дефектов, непосредственно влияющих на безопасность полетов.

Степень развития дефектов отдельно взятой плиты оцениваем с позиции теории риска:

$$P(t) = 1 - r, \quad (2)$$

где  $r$  – степень риска.

Степень риска нарушения безопасности полетов по причине наличия дефектов на аэродромном покрытии устанавливается по зависимости:

$$r = 0,5 - \Phi \left( \frac{H_{\max} - H_{\phi}}{\sqrt{\sigma_{\max}^2 + \sigma_{\phi}^2}} \right), \quad (3)$$

где  $H_{\phi}$  – фактическая величина дефекта;  $\sigma_{\phi}$  – среднеквадратичное отклонение фактической величины дефекта;  $H_{\max}$  – максимальная величина дефекта, при которой вероятность нежелательного последствия равна 50%;  $\sigma_{\max}$  – среднеквадратическое отклонение максимальной величины дефекта;  $\Phi(u)$  – функция Лапласа.

Показатели  $H_{\phi}$  и  $\sigma_{\phi}$  определяют в результате статистических расчетов по достаточному числу замеров величин дефектов на аэродромном покрытии.

Для оценки надежности покрытия на участках А, Б, В или Г необходимо оценить риск  $r_i$   $i$  – го дефекта на отдельно взятой плите, сравнить полученное значение надежности с  $P_{дон}$  для данного участка. по таблице 1:

$$P_i(t) = 1 - r_i \geq P_{дон}. \quad (4)$$

где  $r_i$  - степень риска;  $P_{дон}$  - допустимое значение надежности.

Таблица 1 - Классификация линейных сооружений аэродромов по степени ответственности с учетом Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

В соответствии с Федеральным законом № 384-ФЗ			С учетом структуры СНиП 32-03-96 «Аэродромы»		Допустимое значение надежности, $R_{доп}$	Предельный коэффициент разрушения (допустимый риск)	В соответствии с Федеральным законом № 184-ФЗ		
Уровень ответственности сооружения	Признак ответственности	Коэффициент надежности	Группа участков покрытий	Элемент аэродрома			Недопустимый риск	Коэффициент вариации качества аэродромного покрытия	Степень риска и степень причинения ущерба
1	2	3	4	5	6	7	10	11	12
Уровень I Повышенный	Сооружения, отнесенные в соответствии с Градостроительным кодексом РФ к особо опасным, технически сложным или уникальным объектам	$\geq 1,1$	Б	Участки ИВПП, примыкающие к конечным участкам	0,9	0,1	$> 0,05$	$\leq 0,1$	Пониженная
Уровень II Нормальный	Сооружения, за исключением зданий и сооружений повышенного и пониженного уровней ответственности	$\geq 1,0$	В	Средняя часть ИВПП	0,85	0,15	$> 0,05$	$\leq 0,15$	Средняя
			А	Концевые участки ИВПП	0,8	0,2	$> 0,05$		
				МРД	0,8	0,2	$> 0,05$		
Г	Краев. участки в сред части ИВПП, за исключе.	0,8	0,2	$> 0,05$					

				примыкающих к СРД					
			<b>Б</b>	<b>МС</b>	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>	<b>&gt; 0,05</b>		
				<b>СРД</b>	<b>0,7</b>	<b>0,3</b>	<b>&gt; 0,1</b>		
<b>Уровень III Пониженный</b>	Сооружения временного (сезонного) назначения, а также сооружения вспомогательного использования, связанные с осуществлением строительства или реконструкции сооружения либо расположенные на земельных участках, предоставленных для индивидуального жилищного строительства	$\geq 0,8$	<b>Б</b>	<b>Выводные рулежные дорожки</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>&gt; 0,1</b>	<b><math>\leq 0,2</math></b>	<b>Повышенная</b>

Если условие (4) не выполняется, то плита считается дефектной.

В таблице 2 приведены результаты расчетов фактической надежности покрытия для разных участков искусственной ВПП аэродрома, расположенного в Курской области. В целом состояние покрытия оценивается как недопустимое, требуется проведение ремонта.

Таблица 2 – Результаты расчетов по степени риска

Показатель	Участок А	Участок Б	Участок В	Участок Г
Общее кол-во плит, $N_0$	600	3200	1520	2280
Количество отказавших плит, $N_{от}$	213	1140	423	401
Фактическая надежность $P_f$	0,645	0,643	0,72	0,82
Допустимая надежность $P_{доп}$	0,8	0,9	0,85	0,8
Оценка состояния	Недопустимое	Недопустимое	Недопустимое	Допустимое

В таблице 3 представлена оценка технического состояния жестких аэродромных покрытий методом определения индекса сохранения покрытия  $MI$  и определения комплексного показателя  $K^k$ .

Таблица 3 – Результаты расчетов методами  $MI$  и  $K^k$

Показатель	Значение	Состояние покрытия
$MI$	1,43	недопустимое
$K^k$	213	отличное

Проведенные расчеты различными методами оценки технического состояния позволяют сделать следующие выводы:

1. Различный подход к алгоритму проведения визуального обследования: метод комплексного показателя  $K^k$  подразумевает разделение элементов летного поля на участки, которые делятся на образцы; метод определения  $MI$  – элементы покрытия делятся на участки (секции); метод оценки по степени риска – деление на участки.

2. Различный перечень повреждений искусственных покрытий: по методу определения  $K^k$  учитывается 18 видов повреждений;  $MI$  – 9; метод по степени риска – 7.

3. Различные показатели и неоднозначность категории технического состояния аэродромного покрытия.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАСКАДНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧЬЮ ОБЖИГА КЛИНКЕРА

Порхало В.А.,  
Рубанов В.Г., д-р техн. наук, профессор  
Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова

В промышленности строительных материалов имеется большое количество технологических процессов, где необходимо управлять сложными многосвязными объектами, а их системы регулирования оказываются взаимосвязанными. Многосвязными называются объекты с несколькими входами и выходами, взаимно связанными между собой. В тех случаях, когда в рамках одноконтурных АСР не удается достичь в объекте требуемых показателей качества регулирования той или иной технологической величины прибегают к построению более сложных систем, например, каскадных, автономных систем, систем с переменной структурой, систем с бесконечно большим коэффициентом усиления и др.

Одним из таких сложных многосвязных объектов в промышленности строительных материалов является цементная печь обжига клинкера. Если проанализировать цементную печь как взаимосвязанный объект управления, можно выделить следующие значимые управляемые и измеряемые сигналы (рис. 1):  $Q_{\text{gaz}}$  – количество газа (топлива), подаваемого в печь;  $H_1, H_2$  – шиберы дымососов;  $T_{\text{от}}, P_{\text{от}}$  – температура и давление отходящих газов;  $\text{CO}_2$  – концентрация углекислого газа в отходящих газах;  $T_1, T_2$  – температура материала в зоне подогрева и кальцинирования;  $I_{\text{нагр}}$  – нагрузка на главном приводе печи;  $T_{\text{вт}}, P_{\text{вт}}$  – температура и давление вторичного воздуха;  $Q_{\text{шл}}$  – количество подаваемого шлама;  $t_{\text{об}}$  – время оборота печи.

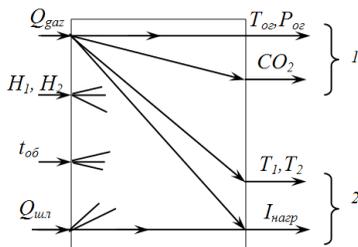


Рис.1. Представление печи обжига как взаимосвязного объекта

При анализе математической модели печи[1] были выявлены следующие закономерности: в выходных параметрах печи есть группа параметров реагирующих сравнительно быстро на входные воздействия  $Q_{\text{gaz}}$  и  $H_1$  – параметры 1 на рис.1, и есть группа параметров, реакция которых сравнительно медленная по отношению к тем же входным воздействиям – параметры 2 на рис.1. На основании этого имеется возможность синтеза системы управления на основе каскадных систем, где быстроедействие одного параметра должно быть выше быстрогодействия другого.

Простейшим случаем каскадной АСР является двухкаскадная АСР (рис.2), состоящая из основного (главного) контура и вспомогательного (внутреннего) контура, как бы вложенного в основной. При этом АСР содержит два регулятора – главный (внешний) регулятор, служащий для стабилизации основной технологической величины объекта  $y_1$ , и вспомогательный (внутренний) регулятор, предназначенный для регулирования вспомогательной технологической величины  $y_2$ . Поскольку выход внешнего регулятора  $x_1$  используется в качестве задания для внутреннего, то этот регулятор называют еще корректирующим, а внутренний, выходной сигнал  $x_2$  которого подают на исполнительное устройство, – стабилизирующим.

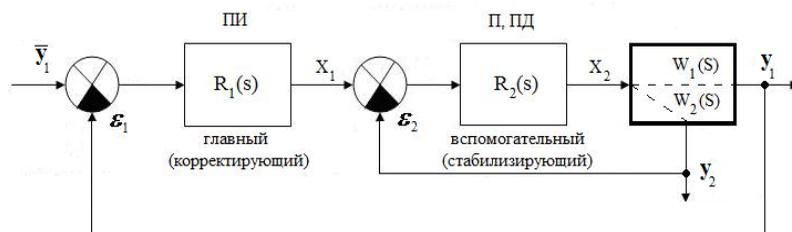


Рис. 2. Структурная схема каскадной АСР

Для того чтобы построить каскадную АСР и чтобы она была эффективна, объект должен удовлетворять, как минимум, двум условиям:

1. При одном входе объекта должно быть не менее двух выходов, то есть управляющее воздействие  $x_2$  должно влиять, как минимум, на две технологические величины  $y_1$  и  $y_2$ .
2. Инерционность объекта во вспомогательном канале, то есть инерционность  $W_2(s)$ , должна быть меньше (желательно существенно) инерционности основного канала, то есть  $W_1(s)$ .

Так, если передаточные функции  $W_1(s)$  и  $W_2(s)$  – аperiodические звенья первого порядка с запаздывающим аргументом, то есть их передаточные функции имеют вид:

$$W(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts + 1},$$

то условие 2) всегда выполняется, если

$$K_1 < K_2, \tau_1 > \tau_2 \text{ и } T_1 > T_2,$$

где индексы при параметрах  $K$ ,  $\tau$ ,  $T$  соответствуют индексам передаточных функций.

После анализа математической модели печи обжига клинкера, для синтеза каскадной АСР были выбраны входной параметр  $Q_{\text{gaz}}$  и выходные параметры  $T_{\text{ог}}$  и  $I_{\text{н}}$ .

Ниже представлены передаточные функции по каналу управления – количество газа подаваемого в печь  $Q_{\text{gaz}}$ , для измеряемых сигналов – температура отходящих газов  $T_{\text{ог}}$  и нагрузка на главном приводе  $I_{\text{н}}$ :

$$W_{Q_{\text{gaz}}-T_{\text{ог}}}(s) = \frac{0.0098}{19.98s^2 + 5.423s + 1} e^{-s}, \quad W_{Q_{\text{gaz}}-I_{\text{н}}}(s) = \frac{0.001539}{81s^2 + 8.29s + 1} e^{-8s}.$$

Как видно передаточные функции удовлетворяют условиям построения каскадной АСР: быстродействие первой передаточной функции значительно выше чем у второй, а коэффициент усиления ниже. В соответствии с этим в среде Simulink пакета MATLAB была построена каскадная двухконтурная система управления печью (рис.3), где управляющим параметром является  $Q_{\text{gaz}}$ , во внешнем контуре регулируется переменная  $I_{\text{н}}$ , а во внутреннем  $T_{\text{ог}}$ .

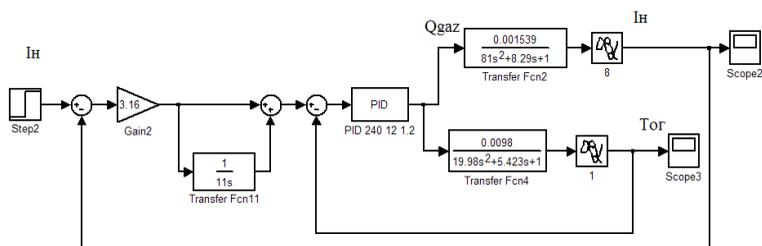


Рис.3. Система управления печью в среде Simulink пакета MATLAB

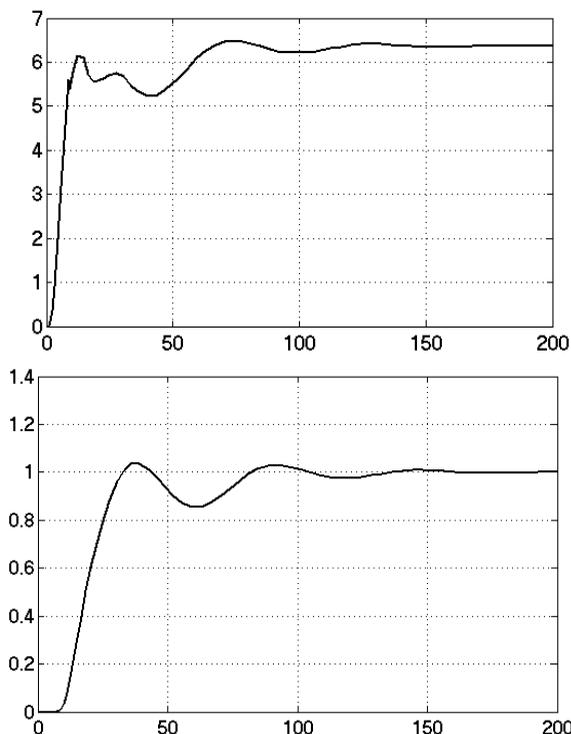


Рис.4. Графики переходных процессов во внутреннем и внешнем контуре

Построенная в среде Simulink каскадная система была промоделирована путем подачи единичного ступенчатого сигнала по каналу управления, и были получены графики переходных процессов во внутреннем и внешнем контуре (рис.4). Данная система является устойчивой, позволяет обрабатывать управление и компенсировать возмущения, что иллюстрируют переходные процессы.

#### Список литературы:

1. *Рубанов, В. Г.* Получение математической модели обжига клинкера с применением статистических методов / В.Г. Рубанов, В.А. Порхало // Научные ведомости Белгор. гос. ун-та. — 2010. — № 7 (78). — выпуск 14/1. — С. 80—88.

## ВОЗМОЖНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ МАСЛОСМАЗКИ МЕЛЬНИЦ

Потапенко А.Н., канд. техн. наук, доцент,  
Сибирцева Н.Б., Черкашин Н.В.

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Для дробильно-измельчительного оборудования применяются современные автоматизированные централизованные маслостанции для жидкой и густой смазки трущихся частей.

В состав автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ) процессом измельчения входят локальные системы автоматического регулирования для обеспечения смазки трущихся частей механизмов мельниц на основе централизованных маслостанций [1, 2]. Схема расположения систем централизованной смазки для шаровой сырьевой мельницы с учётом основных элементов оборудования в виде 2-х электроприводов этой мельницы (главного и вспомогательного) и датчиков температуры показана на рис. 1.

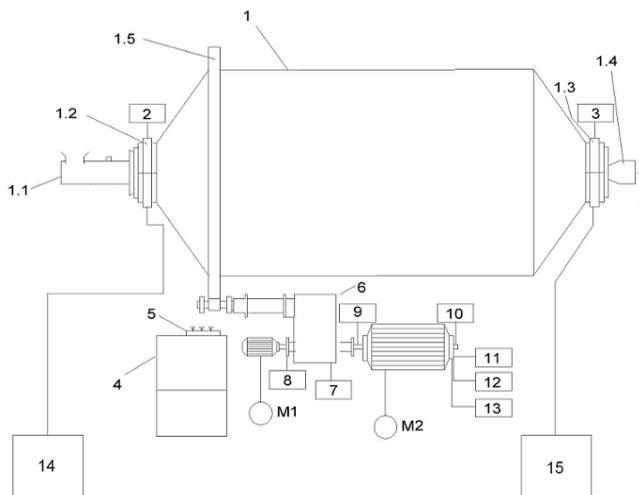


Рис. 1. Схема расположения централизованных систем смазки мельницы

Обозначения элементов на схеме рис. 1 следующие:

1 – шаровая мельница мокрого помола;  
1.1 – загрузочная воронка мельницы;  
1.2 и 1.3 – входная и выходная полые цапфы мельницы;  
1.4 – разгрузочное устройство мельницы;  
1.5 – венцовая шестерня;  
2 и 3 – датчики температуры входного и выходного подшипников мельницы;  
4 – система густой смазки венцовой пары мельницы;  
5 – распылительная пластина;  
6 – редуктор;  
7 – датчик температуры редуктора;  
8 – импульсный датчик числа оборотов обгонной муфты;  
M1 – вспомогательный электродвигатель, который используется во время ремонтных и регламентных работ;  
M2 – главный электродвигатель электропривода мельницы;  
9 и 10 – датчики температуры переднего и заднего валов электродвигателя;  
11, 12, 13 – датчики температуры обмоток главного электродвигателя;  
14 и 15 – система жидкой смазки опорных подшипников шаровой сырьевой мельницы.

Для смазки трущихся частей механизмов мельницы и стабилизации температурного режима входного и выходного подшипников мельницы применяются централизованные системы жидкой смазки, для смазки венцовой пары применяется централизованная система густой смазки как в [3].

В мельницах самоизмельчения аналогично применяются централизованные системы маслосмазки опорных подшипников питательной и разгрузочной цапф мельницы. Схема расположения систем централизованной смазки мельницы самоизмельчения с учётом общей гидравлической системы одной из них показана на рис. 2. При этом I, II, III, IV и V – различные системы маслосмазки в мельнице самоизмельчения.

Элементы централизованной системы жидкой смазки как для первого, так и для второго типа мельниц включают: насосы высокого Н1 и низкого Н2 давления, циркуляционный насос Н3 для охлаждения масла в системе смазки, погружной насос Н4 для перемешивания масла в маслобаке, элементы гидросистем этих насосов ГЭ1 – ГЭ4 (фильтры, обратные клапаны, предохранительные клапаны и др.), устройство охлаждения УО (маслоохладитель), через который по одним каналам

циркулирует нагретое масло, а по другим – охлаждающая жидкость из системы охлаждения СО, регулирующий клапан К1 с электромагнитным приводом ЭМ и маслобак Б1 с нагревательными элементами НЭ.

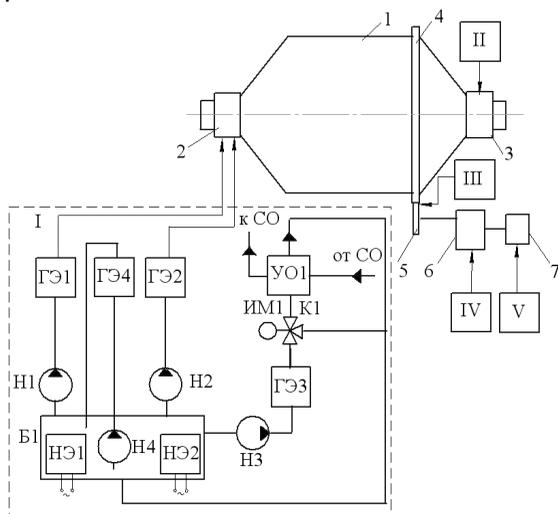


Рис. 2. Централизованные системы смазки мельницы самоизмельчения

При работе станций жидкой смазки мельницы при необходимости подается холодная вода для охлаждения масла через устройство УО или осуществляется подогрев масла непосредственно в маслобаке. Блок-схема основной части системы централизованной смазки на примере одного из подшипника мельницы с учётом насосов высокого Н1 (ВД) и низкого Н2 давления (НД) показана на рис. 3.

Обозначения элементов системы смазки входного подшипника на блок-схеме рис. 3 следующие: шаровые краны К1-К4, К7-К15, К18-К21, электроприводы М1 и М2 насосов Н1 и Н2 мельницы, предохранительные клапаны КП1 и КП2, клапаны обратные КО1 и КО2, клапаны К5, К6, К16, К17 с соответствующими электромагнитными приводами УА1-УА4, маслофильтры Ф1-Ф3, реле перепада давления РД1-РД3, реле-давления РД4 и РД5, маслоохладитель УО1, приборы измерения соответственно расхода FI, давления PI и температуры TI. Дополнительные обозначения с учётом связей следующие: маслобак Б1, система охлаждения СО.

При рассмотрении исследуемого процесса охлаждения входного подшипника мельницы в виде ОУ учитываем рис.2 и рис.3.

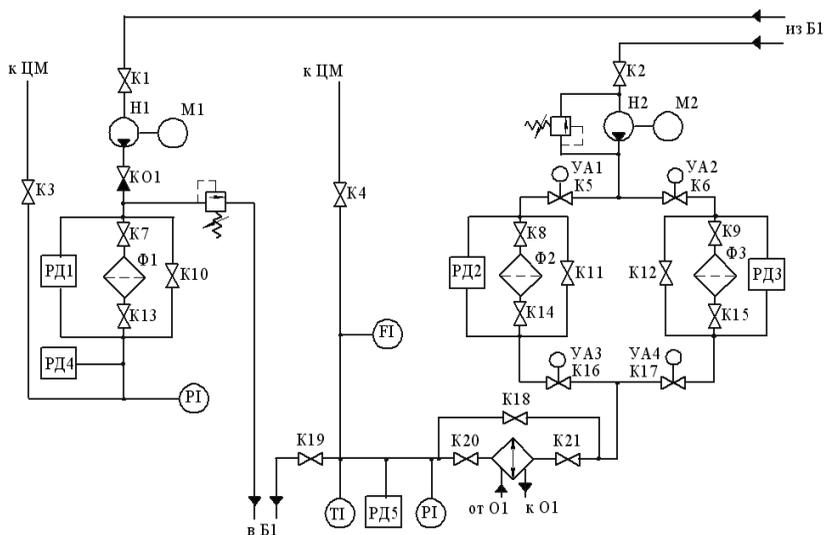


Рис.3. Блок-схема системы смазки входного подшипника

Считаем, что ОУ можно представить в виде неоднородного дифференциального уравнения 2-го порядка

$$\tau_1 \tau_2 \frac{d^2 T_n(t)}{dt^2} + (\tau_1 + \tau_2) \frac{dT_n(t)}{dt} + T_n(t) = k T_o(t) \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент передачи ОУ;  $\tau_1 \tau_2$  – постоянные времени ОУ.

Охлаждающая жидкость (масло) с температурой  $T_n$  и расходом  $G_{m1}$  из маслобака через элементы гидросистем по двум напорным трубопроводам поступает во входной подшипник мельницы, а из него обратно в маслобак. Также в маслобаке с помощью циркуляционного насоса НЗ через элементы гидросистем и через маслоохладитель УО1 предусмотрена циркуляция жидкости с целью охлаждения, т.е.

$$G_{m1}(t) = G_{m2}(t).$$

Здесь  $G_{m1}(t)$  и  $G_{m2}(t)$  – расходы циркулирующей жидкости, через маслобак с помощью насоса НЗ. Кроме того, предусмотрен дополнительный маслоохладитель в гидросистеме насоса НД (Н2),

который подключается в том случае, если недостаточно для охлаждения контура на базе циркуляционного насоса НЗ (см. рис.2).

Принимаем, что на основе закона сохранения массы выполняется следующее соотношение в системе маслобака:

$$G_o(t) = G_{n1}(t) + G_{n2}(t) \quad (2)$$

где  $G_{n1}(t)$ ,  $G_{n2}(t)$  – расходы охлажденной жидкости по двум напорным трубопроводам во входной подшипник с помощью насосов ВД (Н1) и НД (Н2) из маслобака;  $G_o(t)$  – расход нагретой жидкости, поступающей в маслобак от входного подшипника.

С учетом закона сохранения количества теплоты получим следующее выражение:

$$G_o(t)T_o(t) = G_{n1}(t) T_{n1}(t) + G_{n2}(t)T_{n2}(t) + G_{m2}(t)T_{m2}(t) - G_{m1}(t)T_{m1}(t) \quad (3)$$

С учётом  $T_{n1}(t) = T_{n2}(t) = T_n(t)$  получим

$$G_o(t)T_o(t) = (G_{n1}(t) + G_{n2}(t))T_n(t) + G_{m2}(t)T_{m2}(t) - G_{m1}(t)T_{m1}(t) \quad (4)$$

В этом случае мы получаем математическую модель исследуемого процесса в виде системы из 3-х уравнений (1), (2) и (4). Это позволяет исследовать алгоритмы управления для локальных САР с учетом схемы (см. рис. 1 и рис. 2) для обеспечения регулирования температурного режима систем маслосмазки мельниц.

#### Список литературы:

1. *Сибирцева, Н. Б.* Особенности автоматизации загрузки сырьевой мельницы в составе систем АСДУ / Н.Б. Сибирцева, А.Н. Потапенко, А.Н. Семернин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук - 2011. – Т.13. - №1(3). – С. 641-645.
2. Siemens. Totally Integrated Automation/ (<http://www.siemens.ru>).
3. *Госман, А. И.* Централизованные системы смазки для дробильно-измельчительного оборудования / А.И. Госман // Горная промышленность. – 2004. - №4. – С. 29-32.

## ВОЗМОЖНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МОЛНИЕПРИЁМНИКОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С УЧЁТОМ ИХ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

**Потапенко Т.А., аспирант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Для защиты объектов (зданий, сооружений, электрооборудования, промышленных коммуникаций и др.) от воздействия молнии применяются различного типа системы молниезащит, включающие внешние и внутренние устройства. Среди систем молниезащит можно выделить стержневые молниеотводы (СМ), молниеотводы типа металлической сетки, тросовые молниеотводы (ТМ), специальные молниеотводы зонтикового типа с коронирующей системой игольчатых электродов, модернизированные стержневые молниеотводы с молниеприёмниками для создания условий встречного разряда в виде ESE-молниеотводов (Early Streamer Emission – ранняя стримерная эмиссия) [1, 2].

В рамках работы представлены особенности математической модели исследования элементов систем молниезащит в виде распределённых молниеприёмников СМ и ТМ для подстанций электроэнергетических систем [3, 4] с учётом применения модифицированного метода инверсии для определения электростатических полей (ЭП) и структура системы мониторинга разрядов атмосферного электричества в составе автоматизированной системы контроля и управления трансформаторной подстанцией.

1. Постановка задачи. Схема модели подстанции представляется в виде некоторой территории  $V_0$  с размерами  $l_1 \times l_2$  и с объектами на ней от  $x_{11}$  до  $x_{34}$  (в виде агрегатированных устройств). Схема для математического моделирования с учётом возможности расположения молниеприёмников на  $V_0$  в виде распределённых СМ и ТМ, представляется как в [5, 6]. За основу решения первой внешней краевой задачи принимается метод инверсии для численного решения (МИЧР) с допущениями, как в [5, 6]. В области  $V_1(x, z)$ , находящейся в вертикальной плоскости между облаком и поверхностью земли (разрез плоскостью территории  $V_0$  с объектами  $x_{ij}$ ) определяется ЭП потенциала  $\psi$  с учётом проводящей поверхности земли на основе уравнения Лапласа:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = 0; \quad (x, z) \in V_1(x, z). \quad (1)$$

Граничные условия для этой задачи следующие:

- на границе  $A_2$  (нижняя плоскость области  $V_1(x, z)$  в виде проводящей поверхности земли):

$$\psi(x, z_0) = 0, \quad (x, z_0) \in A_2; \quad (2)$$

- на границе области  $A_\infty$  (справа и слева от исследуемых объектов):

$$\psi(\infty) = 0; \quad (3)$$

- на границе  $A_1$  (верхняя плоскость  $V_1(x, z)$  в виде облака):

$$\psi(x, z_n) = \psi_A, \quad (x, z_n) \in A_1; \quad (4)$$

- на границе  $A_3$  в виде ТМ (молниеприёмники):

$$\psi(x_i, z_i) = 0. \quad (5)$$

Здесь  $V_1(x, z)$  – расчетная область, ограниченная  $A_1, A_2, A_3, A_\infty$ , причем  $A_\infty$  – условная граница на бесконечности. Для расчетов в области  $V_1(x, z)$  введены внутренние границы  $A_4$  и  $A_5$  с учётом МИЧР [5, 6]), необходимые для выделения некоторой условно ограниченной области  $V_{A1}(x, z)$ .

Принимаем, что часть выделенной области  $V_{A1}(x, z)$ , входящей в состав  $V_1(x, z)$ , является основной и на ней задаются границы для вычислительных экспериментов в виде некоторого прямоугольника, находящегося в центральной части  $V_{A1}(x, z)$ . Область  $V_{A1}(x, z)$  имеет форму квадрата или круга, тогда с учётом МИЧР необходима дополнительная область  $V_{A1}^*(x, z)$ , например, с учетом вида области  $V_{A1}(x, z)$ , чтобы часть  $V_1(x, z)$ , находящаяся между границами  $A_4$  и  $A_\infty$  и между  $A_5$  и  $A_\infty$ , отобразилась на  $V_{A1}^*(x, z)$ . Области  $V_{A1}(x, z)$  и  $V_{A1}^*(x, z)$  соприкасаются как в [5, 6].

Типовые результаты расчета для схем с ТМ и СМ в исследуемой области  $V_{A1}(x, z)$  для объектов подстанции ( $x_{11} - x_{14}$ ) представлены в [5, 6] в виде уравнений  $E_i = \text{const}$  с учётом высоты подвеса ТМ и высоты СМ систем молниезащит в виде  $H_{mi}^* = H_{mi} / h$ .

Современные автоматизированные системы контроля и управления (АСКУ) трансформаторной подстанцией являются многоуровневыми и состоят из отдельных модулей (см. рисунок), которые могут заменяться на другие типы, и в зависимости от энергообъекта, класса напряжения, мощности, конструктивных особенностей и технического состояния контролируемого аппарата могут комплектоваться различным составом и количеством датчиков, объём функций, выполняемых автоматизированными системами среднего и верхнего уровней и др.

В общем случае АСКУ подстанций принимает данные от датчиков систем и оборудования, а затем полученная информация используется для защиты и управления оборудованием подстанций. Применяемая аппаратура обеспечивает определение параметров и их соответствие допустимым нормам, обеспечивает отображение полученной информации и обработанных характеристик оборудования, обеспечивает удаленный доступ к ним, архивирование и документирование.

Реализуется в виде шкафа автоматизированного рабочего места (АРМ) система контроля и управления и решает следующие задачи:

- дистанционного управления трансформаторным оборудованием типа трансформаторы, автотрансформаторы, шунтирующие реакторы;
- конфигурирование устройств и систем нижнего уровня, визуализации, регулирования, архивирования данных по оборудованию и др.

Шкаф АРМ система контроля и управления (Шкаф АРМ СУМ) устанавливается в кондиционируемых помещениях главных щитов управления подстанций.

Особенность среднего уровня АСКУ заключается в том, что он предназначен для передачи команд управления с верхнего уровня на нижний, а также сбора информации с контроллеров нижнего уровня, датчиков и других измерительных приборов для передачи полученной информации на верхний уровень и с возможностью получения этой информации оператором управления объектами нижнего уровня. В состав технических средств входят:

- шкафы управления и мониторинга трансформаторного оборудования (Шкаф УМТ) на базе контроллеров, причём с возможностью реализации алгоритмов управления системой охлаждения трансформаторов (автотрансформаторов, шунтирующих реакторов) и устройствами регулирования напряжения под нагрузкой;
- шкафы контроля параметров высоковольтных вводов трансформаторного оборудования (Шкаф КПВВ);
- блоки или шкафы мониторинга состояния элегазовых выключателей (Шкаф МЭВ);
- отдельные «интеллектуальные» приборы с датчиками передающие обработанную информацию на верхний уровень и др.

Нижний уровень АСКУ – это уровень сбора данных, передающихся на верхний уровень автоматизированной системы, и автоматического регулирования. На нижнем уровне находятся датчики контроля

трансформаторного оборудования, датчики состояний на вводах трансформаторов, датчики элегазового выключателя и т.д., системы автоматического регулирования (САР) маслонасосами и вентиляторами обдува, система вторичного питания с блоком бесперебойного питания, система контроля и регулирования температуры и т.д.

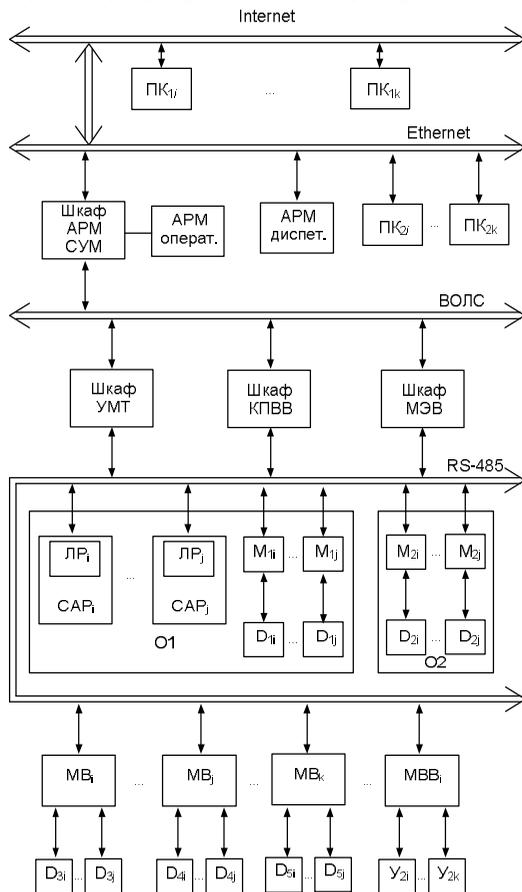


Рисунок. Блок-схема многоуровневой АСКУ подстанции

В АСКУ предусмотрен удалённый доступ к основной информации АСКУ подстанции на основе сети Internet. В АСКУ используется интеграция различных сетей, например, на базе RS-485, сети Ethernet, волоконно-оптической линии связи ВОЛС и др.

Для анализа грозовой активности, особенно проявляющейся в ударах молнии в пределах подстанции, в состав АСКУ входит система мониторинга разрядов атмосферного электричества, например, с помощью молниеприёмников типа СМ. Структура системы автоматизированного мониторинга включает:

- нижний уровень содержит устройства подключения к молниеприёмникам в виде ИС<sub>1</sub> – ИС<sub>ж</sub> для непрерывного измерения параметров в распределённых СМ по точкам учета с целью мониторинга атмосферных электрических разрядов в окрестностях подстанции электроэнергетической системы;

- средний уровень содержит контроллеры в виде модулей аналогового ввода для сигналов с высоким напряжением типа КМ1 – КМ<sub>ж</sub>, связанных с контроллером универсального типа КСУ, расположенного, например в Шкафу УМТ;

- верхний уровень включает шкаф автоматизированного рабочего места системы управления и мониторинга (Шкаф АРМ СУМ) с учётом АРМ оператора с возможностью выполнения сбора информации с контроллеров среднего уровня, обработку этой информации, как по точкам учета, так и по их группам объектов, отображение, документирование данных учета в виде удобном для анализа и принятия решений и др.

#### Список литературы:

1. <http://www.erico.com>
2. <http://www.prevelectron.ru>
3. Юриков, П. А. Защита электростанций и подстанций 3-500 кВ от прямых ударов молнии / П.А. Юриков. – М.: Энергоиздат, 1982. – 88 с.
4. [http:// www.siemens.com/hvds](http://www.siemens.com/hvds) (High Voltage Direct Current Transmission – Proven Technology for Power Exchange).
5. *Потапенко, А. Н.* Исследование распределённых элементов систем молниезащит на основе вычислительных экспериментов / А.Н. Потапенко, А.И. Штифанов, Т.А. Потапенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук — 2010. – Т12, №4 (3). - С. 591-595.
6. *Потапенко, А. Н.* Математические модели и вычислительные эксперименты распределённых тросовых молниеотводов для электроэнергетических систем / А.Н. Потапенко, А.И. Штифанов, Т.А. Потапенко // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. – 2010. – №4 – С. 78-83.

## **ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАШИН В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Прохорова Е.В., магистр**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Одноковшовый строительный экскаватор – это универсальная многофункциональная машина, которая может быть оснащена различными видами сменного рабочего оборудования. Использование сменного рабочего оборудования дает возможность механизировать комплексные технологические процессы.

Чем больше соответствуют параметры машины условиям эксплуатации на объекте, тем эффективнее ее применение.

Все вышесказанное справедливо при условии быстрой и простой смены навесных рабочих агрегатов. Именно для решения этой задачи используются быстросменные адаптеры.

Принципиально быстросменные адаптеры представляют собой дополнительный промежуточный элемент между рукоятью экскаватора и монтажной плитой навесного инструмента.

Система быстрого крепления навесного оборудования повышает эксплуатационную гибкость и производительность машин. Облегчение процесса смены навесного оборудования увеличивает коэффициент использования оборудования. Система быстрого крепления навесного оборудования при изменении вида работ стимулирует оператора к замене ковша на более пригодный для данного применения вместо продолжения использования ковша, установленного ранее. Например если машина не оборудована системой быстрого крепления навесного оборудования, то при экскавационных работах с преимущественно пустой породой, с редкими пластами и карманами скальных пород оператор может предпочесть использование ковша для скальных пород, меньшего размера и большей массы, что приводит к снижению производительности при выполнении работ с пустой породой. При использовании системы быстрого крепления навесного оборудования можно использовать скальный ковш при работе со скальной породой и ковш общего назначения при работе с пустой породой.

Быстросъёмные механизмы Quick Couplers предназначены для быстрой смены рабочего оборудования (ковш, гидромолот, гидронулечи, рыхлитель, грейфер и т.п.) без привлечения дополнительного рабочего персонала. Управление БСМ квик-каплера

происходит гидравликой экскаватора. Быстросъемный механизм значительно экономит время при смене оборудования, если имеются проблемы с демонтажом фиксирующих пальцев ковша.

Точки соединения захвата с пальцами ковша должны совпадать. Каждая машина имеет определенные размеры для использования определенного ковша, что приводит к ограничению возможности использования ковшей, применяемых на других машинах.

В строительстве работают экскаваторы восьми размерных групп, имеющие вместимость ковша 0,15...4,0 м<sup>3</sup>. Наибольшее распространение находят экскаваторы 4-й и 5-й групп (вместимость ковша 0,65 и 1 м<sup>3</sup>).

Быстросъемные механизмы изготавливаются непосредственно под присоединительные размеры экскаватора и подразделяются на шесть размерных групп.

Таблица 1 – Размерные группы быстросменных механизмов.

Название размерной группы и её рисунок	Рабочее давление, атм	Межосевые размеры, мм	Ширина рукояти, мм	Масса, кг
Быстросъемный механизм (БСМ) Quick Coupler Delta QC50				
	40-380	230-280	215	60
Быстросъемный механизм (БСМ) Quick Coupler Delta QC100				
	40-380	380-420	265	130

<u>Быстросъемный механизм (БСМ) Quick Coupler Delta QC200</u>				
	40-380	455-485	305	290
<u>Быстросъемный механизм (БСМ) Quick Coupler Delta QC300</u>				
	40-380	490-545	340	430
<u>Быстросъемный механизм (БСМ) Quick Coupler Delta QC400</u>				
	40-380	530-610	470	550
<u>Быстросъемный механизм (БСМ) Quick Coupler Delta QC500</u>				
	40-380	600-700	600	650

Надежность сменного навесного оборудования имеет решающее значение при его длительной эксплуатации в различных режимах. В наши дни при создании сменного навесного оборудования производители используют компьютерные техники проектирования и

высокопрочные материалы, прошедшие испытание в экстремальных условиях.

Например, даже после нескольких лет интенсивной работы солидный остаточный ресурс позволяет минипогрузчикам и сменному навесному оборудованию Bobcat сохранять рабочие характеристики и привлекательный товарный вид. По этому "старые" машины и сменное навесное оборудование этой марки зачастую покупают по цене, превышающей среднерыночную стоимость бывшего в употреблении оборудования.

Основной проблемой эффективного использования экскаваторов с комплектом сменного рабочего оборудования является обеспечение работоспособности рабочего органа, как важного элемента в цепочке увязанных между собой технологических операций. Нарушение работоспособности хотя бы одной из них может привести к остановке всего комплекса машин, что связано с определенными экономическими потерями.

Импортные гидромолоты обеспечивают высокую производительность, однако и требуют соответственного обслуживания. Эксплуатация и обслуживание навесного оборудования должны происходить в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Для импортных гидромолотов очень важным фактором является наличие расходных материалов в регионе, где производится работа гидромолотом. Приобретаемое дорогое оборудование должно работать, а не ждать из-за границы запчасти по два-три месяца. Также обязательно должен присутствовать сервисный центр с квалифицированным персоналом, для ремонта и обслуживания техники. Обслуживание и ремонт лучше выполнять силами специалистов, чем механиков, которые занимаются ремонтом сменного оборудования впервые. Особое внимание нужно обратить на то, как давно представлена торговая марка на российском рынке.

К сожалению, в России есть несколько марок гидромолотов, которые остались без сервисного обслуживания. Фирмы-поставщики, получив прибыль от продаж оборудования, в дальнейшем меняют торговую марку предлагаемой продукции, отказавшись от сервисного обслуживания проданных гидромолотов. Таким образом, страдают не только клиенты, но и торговые марки. Обычно такие фирмы занимаются продажей экскаваторов и гидромолоты поставляют при заказе клиента, и т.к. основной бизнес заключается в продаже техники, сервис, ремонт навесного оборудования остается актуальной проблемой. Также есть случаи, когда серьезные и уважаемые фирмы, не

имея профессионального сервисного центра, вынуждены менять своих представителей на российском рынке.

Сейчас на Российском рынке все больше и больше появляется фирм, которые, привлекая покупателей ценой, пытаются внедриться на рынок, не имея соответствующей инфраструктуры. Потому и цена низкая, что они не несут затрат на содержание сервисных бригад (по монтажу и обслуживанию), содержанию складских запасов комплектующих и расходных частей к гидромолотам, производственных мощностей.

Одним из важных направлений развития современного строительного машиностроения, позволяющим резко поднять качество машин и снизить их стоимость за счет повышения серийности их производства, является широкое применение при их создании методов агрегатирования из унифицированных и стандартизированных узлов и деталей. Установление диапазона значений унифицированных параметров обеспечивает синтез унифицированных конструкций.

#### **Список литературы:**

1. *Зорин, В. А.* Надежность машин. ОГТУ / В.А. Зорин, В.С. Бочаров. - 2003. - 548 с.
2. *Волков, Д. П.* Строительные машины и средства малой механизации: учебник / Д.П. Волков. – М.: Мастерство, 2002. – 480с.
3. *Ушаков, Л. С.* Импульсные технологии и гидравлические ударные механизмы: учебное пособие для вузов / Л.С. Ушаков. – Орел: Орел ГТУ, 2009. – 250 с.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДОМ ЧАСТИЦ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОКРЫТИЕ ВНУТРИКВАРТАЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Романова Е.В.,**

**Матвиенко Ф.В., канд. техн. наук,**

**Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доцент**

*Воронежский государственный архитектурно-строительный  
университет*

В городской улично-дорожной сети территории жилых и административных районов можно выделить следующие основные элементы: подъезды внутри микрорайонные (внутриквартальные), которые можно разделить на главные, основные и подъезды к отдельным зданиям.

Главные внутри микрорайонные проезды по своему расположению должны исключить создание на них транзитного движения, поэтому их начало и конец должны примыкать к одной и тоже жилой улице районного значения. Основные внутри микрорайонные (внутриквартальные) проезды примыкают к главным внутри микрорайонным проездам. Подъезды к отдельным зданиям, как правило, примыкают к основным или главным внутри микрорайонным проездам. Также отдельно можно выделить пешеходные тротуары и велосипедные дорожки, стоит отметить что проектирование последних не нашло широкого применения в городах центрально – черноземного региона. При проектировании данных элементов улично-дорожной сети (УДС) в большинстве случаев главным аспектом является архитектурно – планировочная проработка проекта и не всегда уделяется должного внимания расчету по критерию упруго прогиба (модуля упругости) дорожной одежды элемента УДС с асфальтобетонным покрытием, который является обобщенным показателем прочности и несет в себе информацию надежности и долговечности.

В соответствии со СНиП 2.05.02-85 дорожная одежда должна соответствовать общим требованиям, предъявляемым к дороге как транспортному сооружению. Эти требования надлежит обеспечивать выбором конструкции для дорожной одежды, соответствующих покрытий проезжей части, конструкции сопряжения проезжей части с обочинами, а также созданием ровной и шероховатой поверхности проезжей части.

Конструкцию дорожной одежды и вид покрытия следует принимать исходя из транспортно-эксплуатационных требований и категории проектируемой дороги с учетом интенсивности движения и состава автотранспортных средств, климатических и грунтово-гидрологических условий и обеспеченности района строительства дороги местными строительными материалами.

К (методичка Гладышева) межквартальные проезды относят к 4 – 5 технической категории общей сети В соответствии с таблицей 1 СНиП 2.05.02-85 к дорогам IV относят дороги местного значения с расчетной интенсивностью от 200 до 2000 ед/сут, а к дорогам V менее 200 ед/сут.

Нагрузку на одиночную, наиболее нагруженную ось двухосного автомобиля для расчета прочности дорожной одежды следует принимать для дорог:

IV категории ..... 100 кН (10 тс);

V категории ..... 60 кН (6 тс).

Если по дорогам IV категории не предполагается движение автотранспортных средств с осевой нагрузкой свыше 60 кН (6 тс), нагрузку следует принимать 60 кН (6 тс).

Общая толщина дорожной одежды и толщины отдельных слоев должны обеспечивать прочность и морозоустойчивость всей конструкции.

При расчете дорожных одежд на прочность следует учитывать перспективную интенсивность движения автомобилей различных типов, которую следует приводить к интенсивности воздействия расчетной нагрузки на одну наиболее нагруженную полосу проезжей части.

К расчетным величинам следует приводить только более легкие нагрузки. Приведение к расчетным более тяжелых нагрузок допускается для дорог IV категории при условии, что приводимая нагрузка превышает расчетную не более чем на 20% и количество транспортных средств с такими нагрузками в составе грузового и автобусного потоков не более 5%. В противном случае за расчетную следует принимать более тяжелую нагрузку или предусматривать регулирование ее пропуска в неблагоприятные периоды года.

Дорожные одежды тротуаров, велосипедных дорожек, автостоянок, проездов следует проектировать в соответствии с требованиями ( типовые конструкции), установленными для дорожных одежд улиц и дорог облегченного и переходного типов. Конструкция дорожной одежды и вид покрытия назначаются на основании технико-экономического сравнения различных вариантов с учетом климатических и гидрогеологических условий, категории улицы,

состава и интенсивности движения транспорта, наличия строительных материалов, а также застройки. Конструкции дорожных одежд должны обеспечивать пропуск уборочной техники, а пожарные проезды - разовый пропуск в течении суток 2-3 транспортных средств тушения пожаров. Конструкции автостоянок должны рассчитывается на длительное статическое воздействие автомобилей. Предварительное назначение конструкции дорожной одежды допускается выполнять по каталогам и альбомам типовых конструкций. Указано, что для улиц и дорог местного значения при преимущественном движении легкового транспорта, пешеходных улиц и тротуаров с уборкой тяжелой техникой могут применяться облегченные типы покрытий с асфальтобетонными покрытиями на основаниях из щебня, гравия или грунта, обработанного вяжущим.

В конструкциях дорожных одежд, требуется, предусматривать следующие слои: покрытие, основание и подстилающие слои оснований, выполняющие дренирующие, морозозащитные, теплоизолирующие функции. При соблюдении транспортно-эксплуатационных требований допускается применять однослойные одежды, одновременно совмещающих функции вышеуказанных слоев. Так же стоит отметить что покрытие, основание и подстилающие слои могут состоять из нескольких слоев. Конструктивные слои дорожной одежды следует назначать из условия прочности и морозоустойчивости всей конструкции. Асфальтобетонные покрытия на основаниях из щебня, гравия, щебеночных смесей, материалов и грунтов, улучшенных вяжущими средствами, проектируются в один или несколько слоев.

Толщина слоев определяется обеспечением прочности дорожной одежды по упругому прогибу всей конструкции, сопротивлению сдвигу в грунте, а также по растяжению при изгибе слоев асфальтобетонных покрытий. Толщина слоев дорожных одежд должна назначаться с учетом типа и марок асфальтобетонных смесей, технологических возможностей строительных организаций и наличия материалов.

Независимо от результатов расчета на прочность дорожной одежды толщины конструктивных слоев в уплотненном состоянии следует принимать не менее приведенных в СНиП 2.05.02-85. А именно толщина слоя покрытий из асфальтобетона, должен составлять: для крупнозернистых асфальтобетонов 6-7 см; мелкозернистых асфальтобетонов 3-5 см; песчаных асфальтобетонов 3-4 см, щебеночных и гравийных материалов на песчаном основании 15см. При укладке каменных материалов на глинистые и суглинистые грунты следует предусматривать прослойку из песка толщиной не менее 10 см.

Материалы дорожных одежд и применяемые изделия должны удовлетворять требованиям и указанным в нем стандартам, а также требованиям СНиП2.05.02-85.

При соответствующем обосновании для улиц и дорог местного значения, пешеходных улиц, тротуаров, велосипедных дорожек, проездов допускается в основаниях и в подстилающих слоях применять золы уноса, металлургические шлаки, золошлаковые смеси ТЭЦ, шламы и другие материалы.

Дорожные покрытия, воспринимающие воздействия от транспортной нагрузки в процессе эксплуатации, деформируются. Величина деформаций может достигать предельных значений, приводящих к дефектообразованию покрытия дорожной конструкции. Задача численного моделирования сводится к выявлению причины образования дефекта с последующим математическим описанием и обоснованием процессов, возникающих при воздействии транспортной нагрузки, выражаемой в поиске механизма возникновения изменений в дорожном покрытии. Напряжение в верхней зоне контакта дорожного покрытия с опорой автомобиля – пневматиком и не изменяется по мере движения транспортного средства от статического до динамического воздействия. Вероятность образования дефектов зависит от параметров транспортного средства и характера приложения нагрузки.

Численное моделирование можно рассматривать как теоретическое упражнение по численному решению краевой задачи Коши. В момент времени  $t = 0$  задается начальное состояние системы в некоторой ограниченной области пространства геометрической модели - улиц, на поверхности которой поддерживаются заданные граничные условия.

Моделирование состоит в прослеживании временной эволюции этой конфигурации. Основной частью вычисления является цикл по временному шагу, в котором состояние системы дороги - автомобили продвигается вперед по времени на малый шаг  $\Delta T$ . Экспериментальный аспект возникает, когда мы рассматриваем проблему измерений. Даже простейший модельный расчет порождает большое количество данных, и для получения результатов в удобной для анализа форме требуется экспериментальный подход.

Хотя объем информации, который можно обработать с помощью вычислительных средств, велик, он тем не менее ограничен. Чтобы получить хорошие вычислительные модели транспортных систем в условиях существующих ограниченных ресурсов, используются методы дискретизации, используемые при создании вычислительных моделей, включают в себя конечно-разностные методы, методы конечных

элементов и метод частиц. Каждая частица имеет набор атрибутов, таких как масса, заряд, завихренность, положение, импульс. Состояние физической системы определяется атрибутами конечного ансамбля частиц, а эволюция системы определяется законами взаимодействия этих частиц. Особенность, которая делает модели частиц привлекательными с вычислительной точки зрения, состоит в том, что ряд атрибутов частицы сохраняется, и поэтому их не надо изменять, когда вычислительная модель развивается во времени. Каждому атрибуту приравнивается свое значение, например масса транспортного средства, грузоподъемность, скорость и т.д.

Связь между частицами вычислительной модели и частицами физической системы в значительной степени определяется соотношениями вычислительных ресурсов характерных пространственных и временных масштабов физических систем. С этой точки зрения в разд. При всем разнообразии перечисляемых явлений их объединяет сходство математических моделей физических систем, а также сходство используемых численных схем. Например, параметры дороги могут рассчитываться по законам электротехники, законам Кирхгофа, Лоренца и других.

#### **Список литературы:**

1. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц: Пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 640 с.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЙКОСТИ К ИЗНОСУ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА**

**Романова Е.В.,**

**Матвиенко Ф.В.,** канд. техн. наук,

**Волков В.В.,** канд. физ.-мат. наук, доцент,

**Подольский В.П.,** д-р техн. наук, профессор

*Воронежский государственный архитектурно-строительный  
университет*

При анализе причин приводящих к появлению дефекта асфальтобетонного покрытия в виде колеи отмечается наличие нескольких факторов, влияющих на величину образования необратимой деформации. В силу особенностей физической природы каждого из факторов проведена серия экспериментальных исследований, позволивших с достаточной достоверностью разделить влияние факторов на необратимые деформации и на долговременный период учесть влияние многоциклового нагрузки от транспортных средств, движущихся по исследуемому асфальтобетонному покрытию в различные времена года и условиях эксплуатации. В целях проведения эксперимента по определению величины износа покрытия и характера появления и изменения необратимой деформации в виде колеи под воздействием интенсивного транспортного потока, была сконструирована экспериментальная установка отвечающая требованиям проведения экспериментальных исследований в течении длительного времени, в различных климатических условиях на асфальтобетонных покрытиях различной конструкции. Одной из частей установки, ответственной за получение данных об остаточной деформации покрытия, его износе, а также необратимой деформации верхнего слоя основания является методика определения геометрических параметров поверхности покрытия с использованием стандартного устройства – рейки универсальной дорожной фирмы «КОНДОР» длиной 3000 мм с шириной опорной грани 50 мм. Для замера просветов между нижней гранью трехметровой рейки и поверхностью асфальтобетонного покрытия используется клиновой промерник позволяющий производить замеры от 0 до 15 мм. На рисунке 1 показано устройство опорного маркера данной измерительной установки.

Маркеры устанавливаются в асфальтобетонное покрытие посредством ввинчивания болтов в предварительно просверленные в асфальтобетоне отверстия диаметром 8 мм, через шаблон с расстоянием между отверстиями 10 см.- рисунок 2. Шаблон представляет собой деревянный брус с предварительно просверленными отверстиями, через которые производится сверление отверстий под маркеры. Брус одновременно выполняет функцию фиксатора вертикального положения сверла, для обеспечения вертикального положения сверла, для обеспечения вертикальности создаваемых отверстий.

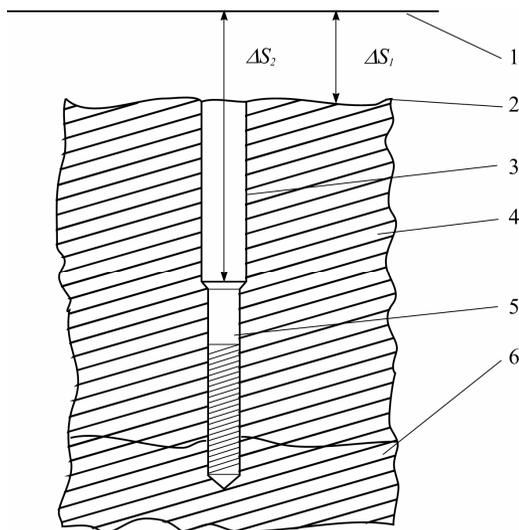


Рисунок 1 - Устройство опорного маркера: 1 - нижняя грань трехметровой рейки; 2 - деформированная поверхность асфальтобетонного покрытия; 3 - канал; 4 - верхний слой асфальтобетонного покрытия; 5 - опорный маркер; 6 - нижний слой асфальтобетонного покрытия

Фиксированная глубина достигается толщиной подкладки под шаблон. После удаления частиц асфальтобетона, образующихся в результате сверления, отверстия продуваются из баллона со сжиженным газом. Грань полученного отверстия смазывается полимерным клеем и посредством шестигранного ключа вкручивается на глубину 30мм. Контроль производится замером штангенциркуля от нижней грани трехметровой рейки до верхнего торца опорного маркера. Аналогичные операции проводятся со всеми маркерами, устраиваемыми в покрытии.

Для обеспечения защиты опорного маркера и канала, в котором устроен маркер, производится заделка с помощью эластичного полимера вводимого на всю глубину и удаляемого при проведении измерений.

Для получения данных износа покрытия, необратимой деформации и изменении количества асфальтобетона в сечении разработана методика проведения измерений, опирающаяся на физические принципы возникновения объемных деформаций, для этого производятся замеры с точностью до 0,01 мм от нижней грани трехметровой рейки и до верхнего торца опорного маркера -  $\Delta S_2$  и до поверхности асфальтобетонного покрытия  $\Delta S_1$ .

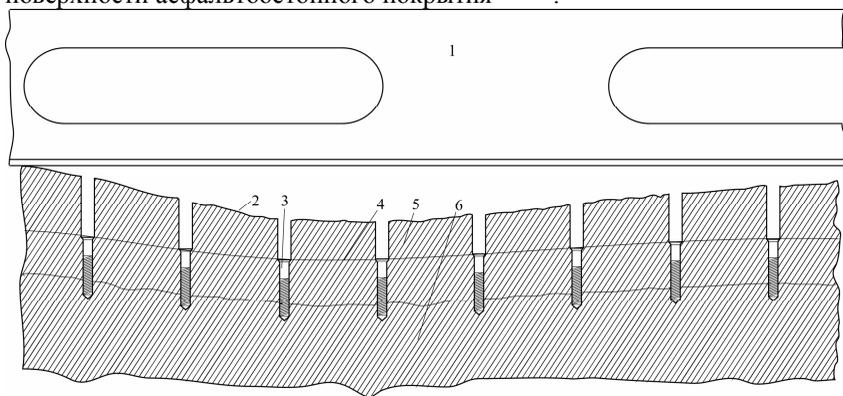


Рисунок 2 - Схема установки маркеров в дорожном покрытии

1 - трехметровая рейка; 2- деформированная поверхность асфальтобетонного покрытия; 3 - опорный маркер; 4 – линия просадки асфальтобетонного покрытия; 5 - верхний слой асфальтобетонного покрытия. 6 - нижний слой асфальтобетонного покрытия

Первичное измерение данных величин было производиться при устройстве всех маркеров и заносится в таблицу, данные значения являются опорными. Для наблюдения за изменением деформированного состояния покрытия проводится измерения величин  $\Delta S_1$  и  $\Delta S_2$ . Полученные данные обрабатываются методами математической статистики. Величина  $\Delta S_1$  содержит в себе как величину необратимой деформации, величину износа, а так же величину изменения вещества асфальтобетонного сечения исследуемого покрытия. На участке с

одинаковой интенсивностью транспортного потока, можно считать, что износ вдоль некоторого участка, а так же величина изменения асфальтобетона в сечении однородно и можно просуммировать площади сечений от верхнего слоя асфальтобетонного покрытия до линии уровня соседних маркеров.

$$S = a \frac{1}{2} \sum_{I=1}^N \left( (\Delta S_{2i} + \Delta S_{2(i+1)}) - (\Delta S_{1i} + \Delta S_{1(i+1)}) \right)$$

В случае отсутствия износа величина изменения сечения на протяжении всего эксперимента должна быть постоянной. В случае износа, возможно, вычислить его величину. Убывание материала в измеренном сечении свидетельствует об износе.

Среднюю вертикальную величину износа  $\delta$ , мм между маркерами можно определить по формуле

$$\delta = \frac{1}{a} \left( a \frac{1}{2} \sum_{I=1}^N \left( (\Delta S_{2i} + \Delta S_{2(i+1)}) - (\Delta S_{1i} + \Delta S_{1(i+1)}) \right)' - \left( a \frac{1}{2} \sum_{I=1}^N \left( (\Delta S_{2i} + \Delta S_{2(i+1)}) - (\Delta S_{1i} + \Delta S_{1(i+1)}) \right)'' \right) \right)$$

где первая часть уравнения, обозначенная одним штрихом начальная площадь сечения, а вторая часть уравнения, обозначенная двумя штрихами площадь, вычисленная в последующие период проведения замера.

Для проведения вышеуказанных мероприятий на рисунке 3 представлена разработанная схема установки ограждения и дорожных знаков в зоне производства работ при измерении параметров колеи дорожного покрытия для двухполосных автомобильных дорог.

Особенностью разработанной схемы является указание расположения места измерения на проезжей части дороги и взаиморасположение измерительных приборов. Исполнение мероприятий по ограждению места производства измерений выполняется в указанной последовательности.

Рекомендуется следующий порядок проведения работ по ограждению места производства работ при измерении параметров колеи:

1. Проезд транспортного средства вперед по ходу движения от места замеров на безопасное расстояние.
2. Установка на расстоянии 10-15 метров от места производства работ знаков: 4.2.2 - "Направление объезда препятствия" и 1.25 -

"Ремонтные работы". Знаки рекомендуется устанавливать на переносном заборчике.

3. Установка направляющих конусов от места расположения знаков 1.25 и 4.22 до транспортного средства.

4. Поверхность должна быть подготовлена - очищена от пыли и грязи.

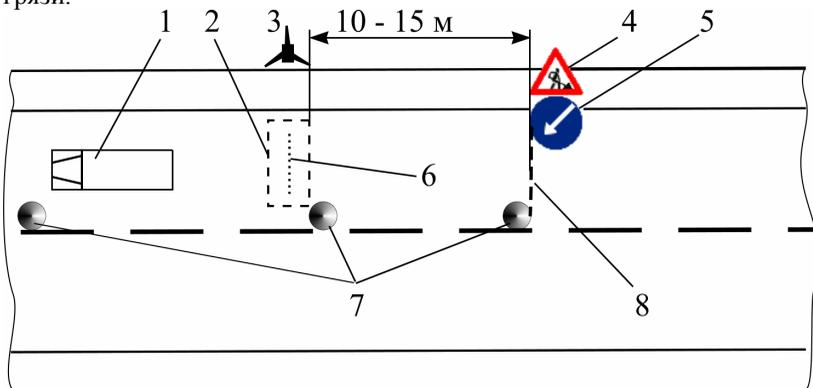


Рисунок 3 - Рекомендуемая схема установки ограждения и дорожных знаков в зоне производства работ при измерении параметров колеи и прогиба дорожного покрытия:

1 - транспортное средство; 2 - место производства работ; 3 – измеритель прогиба; 4 – знак “Дорожные работы”; 5 – знак “Объезд препятствия слева”; 6 – маркеры; 7 - направляющие конусы; 8 – переносной заборчик

Производится контроль состояния поверхности в зоне измерений и отсутствие выпадения маркеров. В случае образования трещин между маркерами, при ослабленной конструкции возможно для их прерывания нарезка борозд между маркерами перпендикулярно оси, их соединяющей.

Применение разработанной технологии в совокупности с оборудованием позволяет учесть для участков с известными характеристиками весовое воздействие транспортных средств, что в совокупности с определением характеристик транспортного потока может позволить выявлять в реальном масштабе времени износ покрытия от воздействия транспортного потока.

**ПРОТИВОМОРОЗНЫЕ ДОБАВКИ:  
КРИТЕРИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ.  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Сердюкова А.А., начальник производственной лаборатории  
ОАО «Завод ЖБК-1»**

Современный рынок строительной химии предлагает широкий спектр модифицирующих добавок для бетонных и растворных смесей, изготавливаемых с применением вяжущих на основе портландцементного клинкера. В 2011 году введены в действие обновленные нормативные документы, устанавливающие основные требования к модификаторам бетонных и растворных смесей, в которых учтены основные нормативные положения европейских стандартов.

ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия» распространяется на неорганические и органические вещества и устанавливает классификацию и критерии технологической и технической эффективности действия добавок в смесях, бетонах и растворах. В настоящем стандарте учтены основные нормативные положения регионального стандарта ЕН 934-2:2001 "Добавки для бетонов, строительных и инъекционных растворов - Часть 2. Добавки для бетонов - Определения, требования, соответствие, маркировка и этикетирование" (EN 934-2:2001 "Admixtures for concrete mortars and grout - Part 2: Concrete admixtures - Definitions, requirements, conformity, marking and labelling") в части определений и технических требований к основным видам химических добавок.

ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности» устанавливает требования к методам испытаний добавок, которые следует учитывать при оценке их эффективности действия в смесях, бетонах и растворах в соответствии с критериями эффективности по ГОСТ 24211 и содержит основные нормативные положения европейского стандарта ЕН 934-6:2002 "Добавки для бетонов, строительных и инъекционных растворов. Часть 6. Изготовление образцов, контроль соответствия и подтверждение соответствия" (EN 934-6:2002 "Admixtures for concrete, mortars and grout - Part 6: Sampling, conformity control and evaluation of conformity") в части требований к изготовлению образцов для испытаний отдельных видов добавок, ЕН 480-1:1997 "Добавки для бетонов, строительных и

инъекционных растворов. Методы испытаний. Часть 1. Контрольный бетон и контрольный строительный раствор для испытаний" (EN 480-1:1997 "Admixtures for concrete, mortars and grout - Part 1: Reference concrete and mortar for testing") в части методов испытаний отдельных видов добавок.

Внесение в стандарты, разрабатываемые в Российской Федерации, основных нормативных положений европейских стандартов является важным шагом на пути гармонизации в области обеспечения взаимного понимания результатов испытаний и информации, содержащейся в стандартах, взаимозаменяемости продукции.

В данной статье будут рассмотрены критерии технологической и технической эффективности действия противоморозных добавок и методы определения и оценки эффективности их действия.

Согласно ГОСТ 24211, по основному эффекту действия противоморозные добавки относятся к классу добавок, придающих бетонам и растворам специальные свойства. В новой версии данного стандарта введено разделение противоморозных добавок на добавки для «холодного» и «теплого» бетона и раствора. Введены два новых термина:

- «холодный» бетон и раствор - бетон или раствор, изготовленный из бетонной или растворной смеси с противоморозной добавкой, постоянно твердеющий при отрицательной температуре;
- «теплый» бетон и раствор - бетон или раствор, изготовленный из бетонной или растворной смеси с противоморозной добавкой, обеспечивающей не замерзание смеси при отрицательной температуре на время от ее изготовления до начала обогрева забетонированной конструкции.

Противоморозные добавки для «холодного» бетона и раствора должны обеспечивать твердение при отрицательной температуре бетона или раствора. При этом набор прочности в возрасте 28 суток должен составлять 30% и более контрольного состава нормального твердения.

Противоморозные добавки для «теплого» бетона и раствора должны обеспечивать защиту смеси от замерзания на время от ее изготовления до укладки и подачи внешнего тепла. При этом набор прочности в возрасте 28 суток должен составлять 95% и более контрольного состава нормального твердения.

Для обеспечения стойкости бетона железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, и защитной способности бетона по отношению к стальной арматуре при выборе модифицирующих добавок необходимо учитывать требования ГОСТ

31384 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования». Ввиду особенностей вещественного состава активных компонентов, обеспечивающего основной эффект действия, при выборе противоморозных добавок необходимо обеспечить соблюдение следующих требований:

- общее количество химических добавок, при их применении для приготовления бетона или раствора, не должно составлять более 5% от массы цемента;
- максимально допустимое содержание хлоридов в бетоне, выраженное в процентах хлорид-ионов к массе цемента, не должно превышать значений, приведенных в таблице 1.

Таблица 1

Максимально допустимое содержание хлоридов в бетоне

Вид армирования	Марка по максимально допустимому содержанию хлоридов, назначаемая с учетом условий эксплуатации сооружения	Максимальное содержание хлоридов, % от массы цемента
Неармированные конструкции	Cl 1,0	1,0
Ненапрягаемая арматура	Cl 0,4	0,4
Предварительно напряженная арматура	Cl 0,1	0,1

- в состав бетона не допускается введение хлористых солей при изготовлении следующих железобетонных изделий и конструкций: с напрягаемой арматурой, с ненапрягаемой проволочной арматурой класса В-I диаметром 5 мм и менее, эксплуатируемых в условиях влажного или мокрого режима, с автоклавной обработкой, подвергающихся электрокоррозии;

- не допускается введение хлористых солей в состав бетонов и растворов для инъектирования каналов предварительно напряженных конструкций, а также для замоноличивания швов и стыков сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций;

- при наличии в заполнителях потенциально реакционноспособных пород не допускается введение в бетон солей натрия и калия.

Применение современных технологий ведения бетонных работ требует стабильного обеспечения сохраняемости технологических показателей бетонной смеси на период транспортировки и укладки в конструкцию. Кроме того, возросшие требования к эстетичности облика зданий и сооружений предполагают принятие соответствующих мер по снижению вероятности высолообразования на бетонных поверхностях.

Все приведенные выше аспекты имеют принципиальное значения и должны учитываться на стадии проектирования бетонной, либо растворной смеси, при подборе ее компонентов.

Современный рынок строительной химии предлагает большой выбор высокотехнологичных противоморозных добавок, разработанных с учетом актуальных требований. Мировые лидеры по производству строительной химии предлагают противоморозные добавки, обладающие двумя или несколькими эффектами действия. Эти добавки состоят из комплекса компонентов (например, комплекс эфира поликарбоксилата и нитрата кальция, водный раствор нафталинсульфоната, лигносульфоната и нитрата натрия), не содержат ионов хлора и не агрессивны к стальной арматуре. Область применения бетонных смесей с такими добавками существенно расширена: укладка бетона при отрицательных температурах, перекачивание бетонной смеси бетононасосом и бетонирование густоармированных конструкций, изготовление железобетонных и напряженных бетонных конструкций.

В ГОСТ 30459-2008 приведены методы испытания противоморозных добавок. Эффективность действия противоморозных добавок для "холодных" бетона и раствора оценивают сравнением прочности бетонов и растворов основных составов, твердевших при заданной отрицательной температуре, с прочностью бетона и раствора контрольного состава, твердевшего в нормальных условиях. Образцы основных составов непосредственно после изготовления должны быть помещены на 28 суток в морозильную камеру с заданной отрицательной температурой (соответствующей виду и рекомендуемой дозировке испытываемой добавки). Образцы должны быть испытаны на сжатие после оттаивания на воздухе при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  в сроки, указанные в нормативном или техническом документе на добавку конкретного вида.

Автором в производственной лаборатории было проведено испытание ряда наиболее распространенных противоморозных добавок по методике для «холодного» бетона и раствора. Испытания проводились при температуре минус  $16 \pm 2^\circ\text{C}$ . Дозировка вводимых

добавок определялась исходя из рекомендаций производителей для данной температуры. По истечении 28 суток в морозильной камере, через 6 часов после оттаивания на воздухе, образцы основных составов испытаны на сжатие. Результаты эксперимента представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Характеристики		Контр. образцы	Вид добавки											
			"РСТ"		"Рапид 115"		"Рапид 025"		"Рапид 680"		"Рапид-2"		"Антифриз П10"	
% введ. добавки (от массы цемента)		-	0,9		1,5		2,25		1,5		1,5		1,5	
ЦЕМ I 42,5 Н Белгородский	кг/м <sup>3</sup>	350	350		350		350		350		350		350	
В/Ц		0,54	0,56		0,45		0,51		0,48		0,59		0,57	
ОК	см	12	12		13		12		13		12		11	
Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, кг/см <sup>2</sup>	1 партия: 28 сут. усл. норм. тв.	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	
		336,8	100%	446,1	132%	444,2	132%	379,1	113%	383,8	114%	461,4	137%	454,7
	2 партия: 28 сут. мороз	Разрушение без приложения нагрузки		Разрушение без приложения нагрузки				4,3	1%	Разрушение без приложения нагрузки		15,7	5%	23,6
3 партия: 1 сут. усл. норм. тв. 27 сут. мороз	90,3	27%	159,2	47%	93,6	28%	124,5	37%	102,1	30%	112,1	33%	116,4	35%

Таблица 3

Характеристики		Контр. образцы	Вид добавки											
			"Криопласт П 20"		"Криопласт П 25-1"		Нитрит натрия		"РСТ"		Формиат натрия		"Т2/18"	
% введ. добавки (от массы цемента)		-	4		1,5		8		1,5		1,5		1,5	
ЦЕМ I 42,5 Н Белгородский	кг/м <sup>3</sup>	350	350		350		350		350		350		350	
В/Ц		0,54	0,54		0,62		0,57		0,56		0,61		0,61	
ОК	см	12	11		13,1		12		12		12		12,5	
Прочность при сжатии	1 партия:	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	
		90,3	27%	159,2	47%	93,6	28%	124,5	37%	102,1	30%	112,1	33%	116,4

сжатии в возрасте 28 суток, кгс/см <sup>2</sup>	28 сут. усл. норм. тв.	311,3	100%	348,7	112 %	370,4	119%	326,9	105 %	382,9	12 3 %	373,6	120 %	364,2	117%
	2 партия; 28 сут. мороз	Разрушение без приложения нагрузки		38	12 %	40,8	13 %	40,5	13%	20,4	6, 5 %	37,1	1 2 %	34,2	11%
	3 партия; 1 сут. усл. норм. тв. 27 сут. мороз	69,7	22 %	149,4	48 %	100,3	32 %	112,1	36%	114,9	37 %	74,7	2 4 %	71,6	23%

Из приведенных данных видно, что ни одна испытываемая добавка не обеспечила набора критической прочности при отрицательной температуре в возрасте 28 суток, независимо от состава добавки, ее свойств и вводимого количества. Замерзание бетона в раннем возрасте до достижения им критической прочности влечет невосполнимые потери прочности, увеличение проницаемости и снижение долговечности бетона. Перед замерзанием прочность бетона должна быть равна примерно 50 кгс/см<sup>2</sup>. Для набора критической прочности необходимо обеспечить предварительное выдерживание бетона в нормальных условиях [1].

В таблицах 2 и 3 приведены результаты испытаний образцов основных составов, которые были выдержаны в нормальных условиях в течении 24 часов, а затем помещены в морозильную камеру с заданной отрицательной температурой минус  $16 \pm 2$  °C на 27 суток. Данное время предварительного выдерживания обеспечило набор критической прочности в бетонах большинства составов. Предварительное выдерживание бетона до момента замерзания в течение меньшего времени в большинстве случаев недостаточно для восприятия цементной системой деформаций и структурных нарушений.

При замерзании бетонов с начальной прочностью порядка 15% и выше (от R<sub>28</sub>) важным фактором является водоцементное отношение, так как оно сильно влияет на интенсивность образования и накопление геля, особенно в первоначальные период твердения бетона. Пористость бетона меняется качественно: капиллярная – особенно опасная при замораживании – значительно уменьшается, а гелевая в той же степени возрастает.

Водосодержание бетона до 180 л/м<sup>3</sup> не влияет существенно на снижение прочности при замораживании, если бетон к моменту замерзания набрал более 30% от R<sub>28</sub>. Однако, уменьшая водосодержание бетона, мы ограничиваем количество образования льда, благодаря чему

уменьшаются деструктивные процессы в бетоне при замерзании, снижаются потери прочности в 28-суточном возрасте [2].

Эффективность действия противоморозных добавок для «теплых» бетона и раствора оценивают сравнением прочности бетонов и растворов основных составов, твердевших по ниже приведенному режиму, с прочностью контрольного состава, твердевшего в нормальных условиях. Образцы основных составов непосредственно после изготовления должны быть помещены на 4 ч в морозильную камеру с заданной отрицательной температурой (соответствующей виду и рекомендуемой дозировке испытываемой добавки). Последующее твердение образцов должно осуществляться в нормальных условиях в течение 28 суток, после чего они должны быть испытаны на сжатие.

В таблице 4 приведены результаты испытаний нескольких составов «теплого» бетона с противоморозными добавками.

Таблица 4

Характеристики		Контр. образцы		Вид добавки							
				"РСТ"		"Рapid-2"		"Т2/18"		Формиат натрия	
% введ. добавки (от массы цемента)		-		1,5		1,5		1,5		1,5	
ЦЕМ I 42,5 Н Белгородский	кг/м <sup>3</sup>	350		350		350		350		350	
В/Ц		0,63		0,56		0,63		0,61		0,61	
ОК		см		11,6		12,5		12		12,5	
Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, кгс/см <sup>2</sup>	Образцы контр. состава: 28 сут. усл. норм. тв.	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр	Ср. значение	% от контр
		29,03	100%	-	-	-	-	-	-	-	-
	Образцы осн. состава: 4 часа мороз, 28 сут. норм. тв.	-	-	31,07	107%	23,85	82%	21,19	73%	21,67	75%

Анализ данных таблицы 4 показал, что воздействие низких температур на ранней стадии твердения, даже в течение недлительного времени, отрицательно влияет на формирование структуры цементного камня. Только в одном составе из четырех бетон набрал необходимую прочность в возрасте 28 суток. В остальных случаях введенное количество добавки оказалось недостаточным для защиты смеси от замерзания, интенсификации процесса твердения и набора в дальнейшем необходимой прочности. Резюмируя все выше сказанное необходимо отметить следующие основные аспекты.

При проектировании составов бетона с противоморозными добавками необходимо соблюдать требования ГОСТ 31384-2008 в части ограничений в количестве вводимых добавок и по вещественному составу активных компонентов для обеспечения долговечности конструкций.

Современная технология ведения строительных работ в зимнее время не должна предполагать замерзание бетонных и растворных смесей. Для набора критической прочности необходимо обеспечить предварительное выдерживание бетона в нормальных условиях. Для решения сложных строительных задач, с целью снижения вероятности ошибок при проектировании состава смеси для «теплого» бетона и раствора, испытания производственных составов смесей необходимо производить в условиях, максимально приближенных к условиям строительной площадки, т.е. выдержку в морозильной камере производить при температуре, близкой к фактической и в течение планируемого времени, необходимого на доставку смеси и ее укладку в конструкцию. Дальнейшее твердение бетона должно происходить при температуре, которая будет поддерживаться на строительном объекте.

#### **Список литературы:**

1. *Миронов, С. А.* Бетоны, твердеющие на морозе / С.А. Миронов, А.В. Лагойда. – М.: Стройиздат, 1975. – 266 с.
2. *Миронов, С. А.* Теория и методы зимнего бетонирования. Изд. – 3-е, перераб. и доп. / С.А. Миронов. – М.: Стройиздат, 1975. – 700 с.

## ПУТИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сиваченко Л.А., д-р техн. наук, профессор  
*Белорусско – Российский университет*

Рассмотренные материалы [1,2] развития технологического машиностроения показывают высокую актуальность этой сферы производственной деятельности и дают представление о реальных перспективах перевооружения промышленности, но не раскрывают путей их реализации. Суть современного этапа развития заключается не в эволюционных изменениях, а в смене технологических укладов. Например, в дезинтеграторных технологиях это II технологический уклад, и это не только чрезвычайно сложная, но и очень важная задача, требующая выработки особой стратегии.

Анализ состояния ряда промышленных технологий производства многих видов сырья и материалов показывает, что они не только очень затратны, но и крайне несовершенны. При этом возникает риторический вопрос: “Чем обусловлено такое состояние и что делать?”. Ответ на первую часть вопроса был дан в статье [2]. В его основе лежит исторический парадокс технологического развития, и корпоративным эгоизмом фирм – производителей оборудования. Ответ на вторую часть вопроса не может быть однозначным. По сути это целый комплекс взаимосвязанных положений, оценок и предложений. Изложим его в авторской редакции [3].

Основное внимание к себе требует правильное понимание состояния вопроса. Его основу определяет алгоритм действий. Это последовательность следующего приоритета: сырье – технологии – базовое оборудование – технологический комплекс – производственная структура – готовый продукт. За этой простой с виду цепочкой функциональных позиций кроется сложнейший механизм, требующий учета всех явлений и закономерностей. Его основная идея – найти неизвестные ранее резервы и обеспечить их техническое воплощение.

В мире уже накоплен огромный массив технологических, но их системное представление отсутствует. Особенно тяжелое положение с оборудованием, для крупнотоннажных производств. Такое оборудование сложно моделировать, а тем более проводить апробацию новых технических решений, но основной преградой на пути перевооружения является нежелание производителей отказываться от выпуска металлоемких и дорогостоящих машин и осваивать

производство новых более совершенных, что грозит им спадом производства.

Кардинально решить проблему энергосбережения при проведении дезинтегративных переделов можно только путем совершенствования технологий и вывода их на мировой уровень. Правильное понимание методов решения этой проблемы может дать разработка энерготехнологической концепции (ЭТК). Некоторые её положения изложены в работе [3].

Внедрение новых способов и оборудования потенциально позволит получить огромную выгоду на предприятиях, прежде всего, в крупнотоннажных переделах, но итоговый результат перевооружения будет зависеть от создания агрегатов, способных заменить существующие. Здесь два сценария событий. Первый – традиционный, основанный на стохастической модернизации системы. Второй – директивное решение проблем путем создания единого центра управления, выработки стратегии и разработки оптимальных механизмов её реализации. Примером последнего служит МНТК “Механобр”, созданный в 1985г. [4]. Цели здесь ставились грандиозные, например, по снижению энергоёмкости в 3–5 раз. Развал СССР нарушил эти планы, но сейчас эта проблема встает во весь рост и её решение требует других подходов. Изменились и условия, – в том числе требования по энерго- и ресурсосбережению, экологичности и конкурентоспособности.

Стартовой площадкой реализации ЭТК должен стать уже действующий коллектив, который объединит вокруг себя недостающие структуры. В Беларуси цементирующим ядром может быть один из машиностроительных заводов с привлечением к работе специалистов, обладающих ноу – хау. Первоначально важно прочувствовать проблему и в короткий период создать коллектив, способный решать те глобальные задачи, которые определяют устойчивое развитие и национальную безопасность. Ближайшей задачей становления и реализации энерготехнологической концепции, должно быть образование комиссии или экспертной группы из числа высококвалифицированных специалистов для всестороннего анализа представленных материалов и принятия соответствующих решений.

Самой несовершенной технологической машиной, по имеющей наибольшее использование в промышленности является шаровая мельница. Сейчас в мире эксплуатируется до 100000 шаровых мельниц производительностью 20 – 150 тонн в час и мощностью двигателя 400 – 3000 кВт. Среднюю стоимость таких агрегатов можно оценить в 2 – 3

млн. \$ США. Вывод напрашивается сам собой. Кто первым создаст более эффективное оборудование, тот сможет завоевать рынок этой продукции. Если к этому добавить возможность производства большого спектра оборудования для многих других технологий, запасных частей и вспомогательного оборудования, а также выполнение проектных работ, то реальные перспективы здесь очевидны.

В составе рассматриваемых нами объектов техники и технологии не представлены тепловые агрегаты и нанотехнологии. Это не означает, что они малоперспективны для развития, но отношение к ним должно быть с других позиций.

Анализ эффективности реализации энерготехнологической концепции является масштабной задачей и в данной работе не может быть решен. Проведем укрупненный расчет эффективности на основе упрощенных показателей применительно к дезинтеграторным стадиям переработки материалов на примере Беларуси и России. В расчетах учтем только наиболее значимые составляющие, что дает нам право быть уверенными в достоверности итоговых результатов.

Для Беларуси стоимость электроэнергии на помол материалов при цене  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  электроэнергии  $0,12$  \$ США и её расходе  $2$  млрд.  $\text{кВт} \cdot \text{ч}$  составляют порядка  $240$  млн. \$ США. По данным [5] затраты, связанные с ремонтом измельчителей ввиду их износа, составляют примерно  $50\%$  от стоимости измельчения. Остальные  $50\%$  затрат составляет электроэнергия. Следовательно, стоимость измельчения будет равна  $480$  млн. \$ США. Стоимость мелющих тел в составе затрат, связанных с ремонтом при цене за  $1$  тонну  $1000$  \$ США и их расходе  $70$  тысяч тонн в год составляет  $70$  млн. Капитальные затраты на приобретение новой техники, разнесенные на срок её эксплуатации  $20$  лет, определим по показателю [5], в соответствии с которым масса оборудования, перерабатывающая  $1$  млн. тонн материала в год, в среднем составляет  $1000$  тонн. Отсюда получаем, что на переработке  $100$  млн. тонн материала в год задействовано соответствующее оборудование массой  $100$  тысяч тонн. С учетом заданного срока эксплуатации ежегодно необходимо устанавливать новое оборудование массой  $5000$  тонн при его цене, по данным заводов – изготовителей, не менее  $8000$  \$ США за  $1$  тонну. В итоге годовые капитальные затраты составят  $40$  млн. \$ США. С учетом стоимости монтажа, вспомогательных агрегатов это значение, по меньшей мере, следует удвоить, т.е. мы имеем значение совокупных капитальных затрат  $80$  млн. \$ США. В расчетах не учтены строительные работы, которые весьма значительны.

Затраты на сушку при совмещенных процессах помола и механотермическую обработку оценены нами в 150 тысяч тонн условного топлива. В пересчете на электрический эквивалент из соотношения  $1\text{кВт}\cdot\text{ч} = 0,32\text{кг}$  условного топлива это составит порядка 470 млн.  $\text{кВт}\cdot\text{часов}$  электроэнергии стоимостью 56,4 млн. \$ США.

Суммируя перечисленные затраты на проведение процессов дезинтеграции получаем их общую величину 616,4 млн. \$ США.

Для укрупненных расчетов на этих цифрах можно остановиться, хотя в целом в них не учтён целый ряд затратных статей, например, на проектные и строительные работы. На этом основании получим удельные приведенные затраты на переработку 1 тонны материала, которые можно считать заниженными. Они составят 6,164\$ США.

Важнейшей задачей выполненного анализа является определение величины экономии соответствующих издержек при проведении перевооружения дезинтеграторных технологий. Для выбора понижающих коэффициентов снижения издержек воспользуемся как директивными значениями [4], так и экспертными оценками [6]. По первым можно руководствоваться следующими значениями: электроэнергия – 3–5 раз, металлоемкость 6–8 раз, по вторым – пропорциональному соотношению различных составляющих при проведении модернизации, а также авторской оценке. На этом основании остановимся на следующих значениях понижающих коэффициентов: электроэнергия –  $K_e = 2$ , металлоемкость –  $K_m = 3$ , ремонтные работы –  $K_p = 2$ , капитальные затраты –  $K_k = 3$ , технологическое тепло –  $K_m = 1,5$ . Отсюда суммарная экономия, отнесения к 1 тонне перерабатываемого материала, в итоге составит 3,122 \$ США.

С учётом общности экономик Беларуси и России аналогичные расчёты издержек и возможных выгод выполнены по методу качественных и количественных соответствий показателей функционирования родственных производств. Без дополнительных пояснений сведём их в таблицу 1.

Таблица 1

## Анализ дезинтеграторных технологий

№	Показатели	Беларусь		Россия	
		Затра- ты	Возмож- ная Эконо- мия	Затра- ты	Возмо- жная Эконо- мия
1	Расход электроэнергии млрд, кВт*ч	2	1	40	20
2	Стоимость электроэнергии, млн. \$ США	240	120	4800	2400
3	Затраты на ремонт, млн. \$ США	240	120	4800	2400
4	Капитальные затраты, млн. \$ США	80	53,4	1600	1068
5	Технологическое тепло Количество, млн. т. усл. т. Стоимость, млн. \$ США	0,15 56,4	0,05 18,8	3,0 1128	1,0 376
6	Суммарные затраты на процессы дезинтеграции, млн. \$ США	616,4	312,2	12328	6244
7	Суммарные затраты на процессы в электрическом эквиваленте, млрд. \$ США	5,137	2,601	102,73 3	52,033
8	Удельные затраты на переработку 1 т. Стоимость, млн. \$ США Электроэнергия приведения, кВт*ч	6,164 51,33	3,122 26,02	6,164 51,37	3,086 25,71
9	Удельные затраты на 1 жителя в год: Стоимость, млн. \$ США Электроэнергия, кВт*ч	63,49 528,7	32,19 286,0	86,3 719,18	43,2 359,94

Для наших стран удельные показатели процессов дезинтеграции и потенциальных возможностей повышения их эффективности имеют близкий порядок. Для России большая в 1,4 раза душевая переработка материалов повышает эти затраты и характеризует экономику как более сырьевую. Общая оценка ситуации – дезинтеграторные технологии чрезвычайно затратны и энергоёмки, но при этом именно огромные резервы их снижения.

Кроме дезинтеграторных переделов в промышленности при переработке различных материалов широко используется целый ряд различных процессов. Выберем самые значимые для Беларуси и дадим им соответствующую оценку.

Безусловно, на первом месте здесь тепловые процессы. Так, по данным [7], коэффициент полезного действия теплотехнологических установок колеблется в пределах 5–15%, а их реконструкция позволит довести его до 50% и экономить около 1,0 млн. т.у.т. в год, что соответствует примерно 3% от его общего потребления.

Производство цемента, извести, керамических изделий и стекла является самым энергоёмким в промышленности строительных материалов. Например, на обжиг 1 тонны клинкера на цементных заводах расходуются не менее 200 кг у.т. Известными и реализуемыми уже сегодня в мире мероприятиями этот показатель можно уменьшить на 40 – 45 кг, что при выпуске цемента в количестве 4,5 млн. тонн дает годовую экономию порядка 200 тысяч т.у.т. С учётом повышения эффективности тепловых агрегатов при производстве других строительных материалов эта величина составит не менее 0,3 млн. т.у.т. Если к этому добавить использование выгорающих добавок, сжигание твёрдых бытовых отходов, отбор тепла от корпусов и отходящих газов печей, то реальная экономия может достигнуть 0,5 млн. т.у.т. Это значение за счёт достижений нанотехнологий в области цемента может быть увеличено на 0,3 – 0,4 млн. т.у.т. и достигнуто путем замены до 50% клинкера дешёвыми минеральными добавками. С выполнением работ по экономии топлива в других сферах стройиндустрии суммарная экономия составит не менее 1 млн. т.у.т, а с вводом новых мощностей к 2013 – 2014г.г. и величины до 1,5 млн. т.у.т. в год.

Колоссальные возможности экономии энергоресурсов имеют предприятия химической, горнорудной, пищевой отраслей промышленности, машиностроения, металлургии, сельского хозяйства, транспорта. В этих сферах эффективность энергосбережения зависит от совершенства технологий и определяется степенью перевооружения. Потенциал экономии топлива здесь составляет не менее 1,5 млн. т.у.т., и электроэнергии 1 млрд.  $\text{кВт}\cdot\text{ч}$  в год.

Величина энергосбережения в промышленном электроприводе, использующем свыше 60% производимой электроэнергии, за счет снижения потерь в самих электропреобразователях и при оптимизации осуществляемых с их помощью технологических процессах, оценивается в 0,4 млрд.  $\text{кВт}\cdot\text{ч} / \text{год}$  [8]. Энергосбережение при внедрении на объектах Беларуси теплонаносных установок ещё выше и составляет только первичного топлива 0,6 млн. т.у.т.

Важным компонентом энергосбережения служит ресурсосбережение. Здесь примеров может быть ещё больше.

Нельзя обойти стороной и нанотехнологии. Пришло время осваивать их в промышленных объёмах. К сути энерготехнологической концепции это также имеет непосредственное отношение и может сопутствовать её реализации.

Суммируя представленные данные потенциала энергосбережения можно считать, что после проведения необходимых мероприятий в Беларуси можно экономить не менее 12 млрд. кВт·ч электроэнергии и 5 млн. т.у.т. в год с преобладающей экономией в натуральном исчислении. Представленная информация позволяет озвучить основные цифры, относящиеся к потенциалу энергосбережения в технологическом секторе. Это минимум 25% всей электроэнергии и 10% топлива. Эти цифры могут возрасти, но такую оценку должны дать специалисты соответствующих профилей. Далее речь будем вести только об дезинтеграторных технологиях.

Сделанный выше анализ показывает, что перевооружение дезинтеграторной сферы производства является неизбежным и востребованным для инновационного развития. Между тем, это сложнейшая задача и без активного участия в ее решении государственных органов тут не обойтись. С учетом исторического опыта развития дезинтеграторных технологий, сформулируем основные направления и пути их дальнейшего совершенствования на современном этапе.

1. Создание единого научно-технического центра, обеспечивающего координацию всех работ.

2. Разработка в рамках Союзного государства Россия – Беларусь комплексной научно-технической программы «Технологические комплексы» и создание многопрофильной корпорации «Технопром».

3. Привлечение к работе специалистов и организаций имеющих перспективные разработки и заключение с ними лицензионных контрактов.

4. Организация производства новой продукции в Белоруссии и России, и совместный выход на международные рынки.

Представленные предложения являются первой попыткой формирования новых взглядов на возможные пути кардинального повышения эффективности народного хозяйства на основе развития технологического машиностроения для перевооружения соответствующих отраслей промышленности и увеличения экспортного потенциала.

Сейчас очень важным является сотрудничество с ведущими научными центрами и фирмами как в России, так и в ряде других стран,

обладающих большим научно – технологическим, производственным и финансовым потенциалом. Правильно сформированные альянсы в этом случае являются очень эффективными и обеспечат не только быстрое, но и экономически выгодное вхождение в мировую систему разделения труда.

Автором представлен анализ состояния дезинтеграторных технологий, который показывает, на примере для Беларуси, потенциальную возможность повышения их эффективности и получения консолидированного эффекта в пересчете на энергетические показатели около 8% электроэнергии и 1,0–1,5% топлива от их общего потребления.

Энерготехнологическая концепция национальной безопасности, целью которой является создание технологического машиностроения, опирается на опыт исторического развития техники и технологии, но главный акцент в ней сделан на поиск путей повышения эффективности промышленного производства. Это перспективное направление и его успешная реализация позволит вывести на более высокий уровень многие отрасли народного хозяйства.

#### **Список литературы:**

1. *Сиваченко, Л. А.* Современное технологическое машиностроение. Основные положения / Л.А. Сиваченко // Инженер – механик. – 2010. № 4. – С. 10–20.
2. *Сиваченко, Л. А.* Современное технологическое машиностроение. Резервы развития / Л.А. Сиваченко // Инженер – механик. – 2011 – №1. – С. 11–21.
3. *Сиваченко, Л. А.* Измельчение – основное звено энерготехнологической концепции национальной безопасности // Матер. междунар. науч. техн. конф. Интерстроймех. – Белгород: 2010, Том 2. - С. 121–127.
4. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 12 декабря 1985г. №1230.
5. *Акунов, В. И.* О нормальном ряде измельчителей. Научное сообщение №32, ВНИИТИСМ, М.: Гостройиздат, 1958. - 86с.
6. *Ревнивцев, В. М.* Селективное разрушение минералов / В.И. Ревнивцев, Л.П. Зарогатский, И.М. Костин и др. - М.: Недра, 1988. - 286с.
7. Основные направления энергетической политики Республики Беларусь на период 2010 г. – Минск: Минтоп, 1996. - 46с.
8. *Поспелова, Т. Г.* Основы энергосбережения / Т.Г. Поспелова. – Мн. УП Технопринт, 2000. – 353с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНОГО ЛЕНТОЧНОГО ГЕРМЕТИЗИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА, УЛОЖЕННОГО В ШВЫ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

Синица Г.Н., доцент,  
Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Военный авиационный инженерный университет*

Эксплуатация аэродромов – сложный процесс, каждая составляющая которого ответственна за обеспечение его гарантированного срока эксплуатации. Одним из основных элементов аэродромного комплекса являются искусственные покрытия взлетно-посадочных полос и рулежных дорожек. Искусственные покрытия эксплуатируются в широком диапазоне температурных и эксплуатационных нагрузок, что неизбежно приводит к их разрушению вследствие увеличения внутренних напряжений. Для снижения значений внутренних напряжений устраивают деформационные швы. Защита подстилающего слоя основания от попадания влаги возлагается на герметизирующий материал, выполненный в виде сплошного единого целого, заполняющий указанные швы (рисунок 1).

Значения физико-механических характеристик уплотнителей и герметизирующих материалов определяются в лабораторных условиях и не учитывают реальных условий эксплуатации. Подобное обстоятельство не позволяет потребителю хотя бы ориентировочно оценить сроки гарантированной работы герметизирующего материала.



Рисунок 1 – Профилированные ленточные уплотнители, используемые для герметизации швов

Появление новых полимерных высокоэластичных материалов позволило по-новому рассмотреть вопрос о технологии герметизации швов. На рисунке 2, показан ленточный уплотнитель новой конструкции. Отличительной особенностью которого, является наличие

высоко адгезивного слоя формируемого клеящим составом, инициируемого в процессе технологической укладки.

При проведении технологической операции, связанной с герметизацией швов аэродромных покрытий, клеящий состав, под высоким давлением выстреливается из капсул крепко соединенных с основанием ленточного покрытия. Это обеспечивает высокую адгезионную прочность соединения, что позволяет производить работы даже на мокром покрытии. Для расчета деформаций возникающих при экскурсии швов был использован математический пакет решения дифференциальных уравнений в частных производных Comsol Multiphysics. Граничные условия и величины усилий, включая температурный режим, соответствуют реальным.



Рисунок 2 - Модель ленточного уплотнителя швов аэродромных покрытий

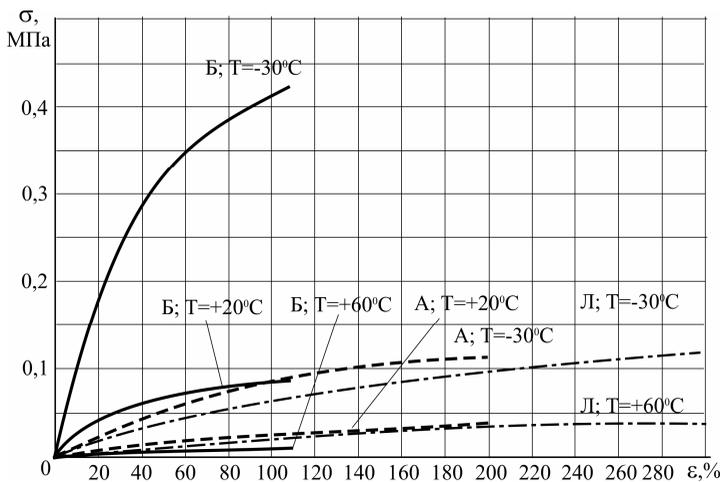
Для разрешения вышеуказанных проблем предлагается модель предельного состояния двухкомпонентного герметизирующего материала в деформационном шве жесткого покрытия. В основу предлагаемой модели положена вероятностная характеристика возникновения разрушения, связанная со свойствами материала, которые характеризуются температурной зависимостью модулей упругости компонентов материала и коэффициентами Пуассона.

Для плит жесткого покрытия применялась модель Винклера основания с двумя коэффициентами постели, при заданной толщине. Принимался эквивалентный коэффициент постели  $C_1=200$  и  $C_2=30$  с водонасыщением грунта 25%, модулем упругости  $E_1=250$  МПа,  $\mu_{гр} = 0,25$ ,  $\rho_{гр} = 2300$  кг/м<sup>3</sup>. На грунте лежат железобетонные плиты, длиной – 6 м., шириной – 4 м., толщиной – 140-240 мм. (в зависимости от базирующейся авиации). Температурный коэффициент расширения бетона составляет  $5,6 \cdot 10^{-5}$ . При нагрузках, характерных для различных типов авиации с учетом толщины плит покрытия последние могут деформироваться в вертикальном направлении на величину до 15 мм.

В течение всего периода эксплуатации герметизирующий материал в деформационном шве подвергается воздействию напряжений

вызываемых приложением механической нагрузки от воздушных судов к элементам покрытия и воздействию, обусловленному температурным фактором [1]. В связи с этим герметизирующий материал не просто деформируется из-за линейного перемещения элементов покрытия, но и сам изменяет свои физико-механические свойства. Так как под воздействием температуры изменяются практически все физико-механические характеристики материала, то зависимость напряженно-деформированного состояния герметика в деформационном шве от термодинамического состояния самого материала приобретает сложный вид. В первую очередь это обусловлено изменением, под действием температуры, пластических свойств исследуемых двухкомпонентных материалов, температурным изменением модуля упругости, адгезионной и когезионной прочности.

Результаты расчета приведены на рисунке 3, на котором показаны уплотнители на основе БПАГ-35, АПГХО и ленточного уплотнителя.



Б – БПАГ-35; А – АПГХО; Л - ленточный уплотнитель

Рисунок 3 - Деформации герметизирующего материала в шве жесткого покрытия при различных температурах воздействия

Анализируя полученные результаты, можно сделать выводы: ленточный уплотнитель деформационных швов обладает большей эластичностью к растяжению, чем используемые на сегодняшний день герметизирующие материалы. В среднем, деформативность выше на

50% по сравнению с АПГХО и в 3 раза БПАГ-35. У ленточных уплотнителей отмечается высокая температурная стабильность, связанная с изготовлением ленты в промышленных условиях. Сформированная на производстве лента обладает дополнительными свойствами, отсутствующими у используемых материалов. Так как, материал ленты полимеризован в автоклавных условиях, то он, обладая более высокими характеристиками, меньше подвержен старению и в силу своих свойств более устойчив к высокотемпературным струям двигателей самолетов. Использование ленточных герметизирующих материалов с более высокими деформативными свойствами, позволит повысить качество герметизации швов аэродромных покрытий.

#### **Список литературы:**

1. *Гольдман, А. Я.* Прогнозирование деформационно-прочностных свойств полимерных и композиционных материалов / А.Я. Гольдман. - М.: Стройиздат, 1989. – 252 с.
2. *Кисина, А. И.* Полимер-битумные кровельные и гидроизоляционные материалы / А.И. Кисина. – Л.: Стройиздат, 1983. - 133 с.

## **ОПЫТ ОБСЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ГЕРМАНИИ**

**Dr.-Ing. Slawomir Heller,**  
*Heller Engineering Ltd.,*

**Горшкова Н.Г., канд. техн. наук, профессор,**  
**Короткова А.О.,**  
**Морозова Ю.С.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Проблема управления качеством дорожно-строительных работ является наиважнейшей для российских дорожников. Уровень транспортного обслуживания населения и эффективность транспортных перевозок определяется в значительной степени развитостью и качеством автодорожной сети. Однако, около 76% протяженности автомобильных дорог регионального (межмуниципального) значения в РФ не соответствуют нормативным требованиям по транспортно-эксплуатационному состоянию, что приводит к повышению себестоимости автомобильных перевозок и снижению конкурентоспособности продукции предприятий. К сожалению, в России не удается переломить тенденцию к увеличению отставания по темпам ремонтных работ. Более половины дорог местного значения не имеют твердого покрытия. Несвоевременный ремонт дорог приводит к ускоренному разрушению дорожного полотна, обочин и мостовых сооружений. Отложенные ремонтные работы и восстановление этих дорог обойдутся в 2,5-3 раза дороже, чем при своевременном проведении работ. Существует необходимость в первую очередь решать задачи сохранения действующей федеральной сети автомобильных дорог за счет качественного содержания и ремонта. Также важно предусматривать меры по повышению эффективности бюджетных расходов, направляемых на строительство, реконструкцию, ремонт и содержание автомобильных дорог [1]. По этим сложным задачам интересен и полезен опыт зарубежных стран.

Например, в Германии действует децентрализованная система управления дорогами, в соответствии с которой в стране есть Минтранс Германии, однако все вопросы по содержанию и эксплуатации автомобильных дорог находятся в компетенции Дорожных Администраций земель. Распределение задач и компетенций между федеральным центром и землями в дорожном строительстве определено

Конституцией ФРГ. В ней федеральный центр объявлен «владельцем и застройщиком» федеральных трасс. Таким образом, перед федеральным центром стоит задача как нового строительства, так и реконструкции автомобильных дорог, включая автобаны. На Дорожные Администрации земель, согласно Конституции, по поручению федерального центра ложатся обязанности осуществления подрядного строительства федеральных трасс, а также административного управления ими. В последнее понятие входит также и планирование строительства, которое осуществляется на средства земель.

Большое внимание в Германии уделяется мониторингу автомобильных дорог. Немецкие компании TÜV Rheinland Schniering GmbH и Heller Engineering Ltd. поддерживают дорожное правительство и выполняют совместные проекты по обследованию и оценке состояния дорог. На сегодняшний день TÜV Rheinland Schniering GmbH имеет в своем распоряжении высокоскоростные системы измерения состояния покрытий дорог, которые были разработаны инженерами и программистами компании. Для сбора данных применяются многофункциональные системы: ARGUS, SKM, ARGUS AGIL, которые оснащены навесным оборудованием, разработанным и изготовленным на принципе «ноу-хау» самой компанией, и имеют GPS навигацию. Для визуализации и оценки данные могут быть переданы в компанию Heller Engineering Ltd., либо могут быть обработаны с помощью собственных программ, таких как: STRADIVARI, ARGVideo, Customer Specific.

ARGUS – многофункциональная высокоскоростная система измерения, оснащенная навесным оборудованием для получения данных о продольном и поперечном уклонах, дефектах и макроструктуре покрытия (рис.1). Продольный и поперечный уклоны проезжей части дороги измеряется с помощью лазерных датчиков,



показания которых в режиме «онлайн» транслируются на бортовом компьютере.

По полученным данным программа автоматически проектирует модель профиля. Система оснащена макрокамерами, которые позволяют выявлять все дефекты покрытия, в том числе трещины от 0,6 мм.

Рис. 1 – Многофункциональная система ARGUS

Качество снимков обеспечивается системой освещения. Данные с этих камер непрерывно поступают в сервис-центр, обрабатываются специально обученными людьми на компьютерах и заносятся в специальные формы. Благодаря трем фронтальным камерам также фиксируется окружение дороги в виде фотоснимков.

Коэффициент сцепления покрытия измеряется с помощью машины SKM (skid resistance system) (рис. 2).



Рис.2 – Машина для измерения коэффициента сцепления:

а) общий вид; б) оборудование для измерения коэффициента сцепления

При измерении учитываются такие важные факторы, как температура воздуха, воды и покрытия, которая фиксируется установленными в автомобиле сенсорами. Измерения производятся на влажном покрытии, для чего производится его увлажнение при помощи подачи воды из цистерны. Измерения производятся при скорости до 80 км/ч, емкость цистерны достаточна для непрерывного обследования 200 км покрытия.



ARGUS AGIL используют для обследования покрытий велосипедных дорожек (рис. 3) ARGUS AGIL оборудован лазерными датчиками для измерения продольного уклона покрытия и цифровым видеооборудованием с высоким разрешением для обнаружения дефектов покрытия.

Рис. 3 – Машина для обследования велосипедных дорожек

TÜV Rheinland Schniering GmbH создана программа STRADIVARI, с помощью которой составляются карты и таблицы дефектов покрытий (рис. 4). С помощью меню навигации программа позволяет выбрать на карте любой участок дороги и просмотреть подробную информацию о покрытии на данном участке.

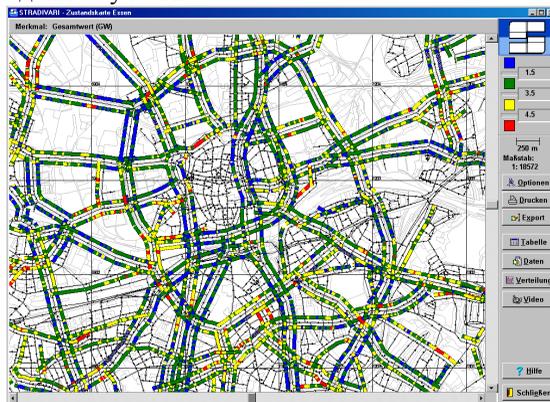


Рис. 4 – Карта сети дорог

Как говорилось ранее, для визуализации и оценки данные могут быть переданы в компанию Heller Engineering Ltd. Более 20 лет Heller Engineering Ltd. (HI) имеет большое влияние в дорожной сфере не только в Германии, но и в других странах Европы. HI разработала все существующие правила и стандарты, которые оценивают и показывают дорожные условия, а так же отвечают за проверку качества от имени федерального дорожного правительства. Кроме этого, HI разработал системы управления, включая системы управления качеством, а так же базы данных и информационные системы для всех Администраций Федеральных земель Германии, а так же для Федерального Дорожного института (BAST) Германии. HI оценила более чем 600 тыс. км дорог в Германии. За своё существование HI удалось охватить широкий спектр задач, таких как: сбор и кодирование данных о дорожной сети, данные об эксплуатации дороги, разработка и внедрение систем баз данных, мониторинг и оценка данных, помощь в планировании дорожно-ремонтных работ, системы поддержания покрытий дорог (PMS), системы поддержания мостов (BMS).

В Германии существует система учета и оценки данных о состоянии дорог. Она получила обозначение ZEB и используется с 1990г. С помощью данной системы проводятся технические измерения характеристик покрытия дорог при сохранении движения. При этом

производятся измерения и анализ характеристик продольного и поперечного уклона, шероховатости, трещин и мест ямочного ремонта. Согласно анализу исходных данных производится оценка состояния по пятибалльной шкале (1 – «очень хорошо», 5 – «плохо»). Сбор данных осуществляется в TÜV Rheinland Schniering GmbH и впоследствии НИ обрабатывает их. Следует отметить, что НИ полностью разработал программное обеспечение для решения поставленных задач. Heller Engineering Ltd. применяет систему поддержания покрытий дорог на стратегическом уровне (HERMES) и на рабочем уровне (hiPMS).

HERMES – это «классическая» система поддержания покрытий дорог (PMS) с предоставлением прогноза о состоянии покрытия дорог, различных вариантов восстановления покрытий и т.д. Это система также предоставляет сервис, способный прогнозировать необходимое восстановление покрытия (согласно так называемому сценарию качества) в перспективе планирования на долгий срок.

hiPMS используется для интерактивного планирования работ в перспективе и на короткие и средние сроки (согласно так называемому сценарию бюджета). Программа комбинирует автоматические PMS алгоритмы и позволяет специфицировать программы по восстановлению, которые были разработаны на стратегическом уровне. Таким образом, принимается во внимание большое количество интерактивной визуализации всех существующих данных, включая элементарные данные о состоянии дорог и снимки пространства, окружающего дорогу.

Для Дорожных Администраций и строительных компаний три года назад НИ была разработана современная информационная система OnKo. Управление данными осуществляется на web-сервере на инновационном уровне, который, кстати сказать, является одним из мощнейшим в Европе. Все данные доступны для клиентов через любой web-браузер. Данные предоставляются синхронно с использованием современного и эргономического методов визуализации. Кроме того, OnKo оборудован Web Map Server, который позволяет включать результаты GIS (географическую информационную систему). Дорожные Администрации всех федеральных земель в Германии и Федеральный Дорожный институт (BAST) используют систему OnKo (рис. 5).

Для Дорожных Администраций Германии очень важно интенсивно использовать данные о поддержании состояния дорог для решения различных задач. Поэтому НИ разработала способы для оценки и визуализации данных, которые приносят значительную выгоду и

увеличивают количество принятых данных о поддержании состояния покрытий дорог.

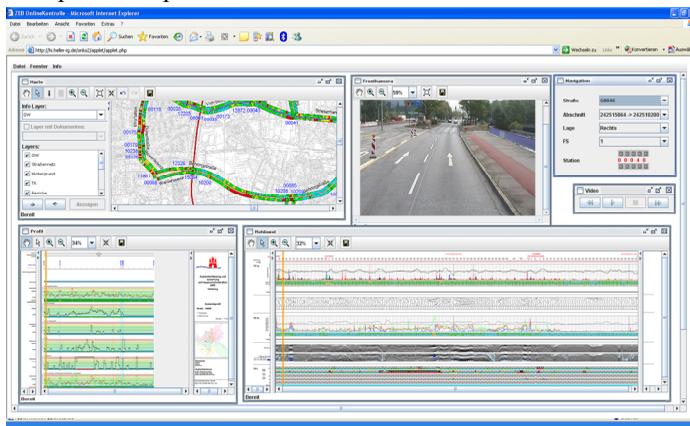


Рис. 5 – Рабочее окно программы OnKo

В Германии есть существенное различие между сбором (мониторингом) и оценкой данных. Собранные данные используются не только для дорожного обслуживания, но также могут использоваться для различных других целей. Эти данные о поддержании состояния покрытий дорог предоставляются в элементарной форме, это так называемые необработанные данные (например, неровности профиля, предоставляемые через каждый метр с точечной плотностью в горизонтальном направлении каждые 10 см, снимки покрытия и т.д.). Проверка качества на уровне необработанных данных очень важна. HI разработала способы контролировать и визуализировать элементарные данные о поддержании покрытий дорог, и является единственной компанией в Германии, у которой есть эти сложные технологии. В настоящее время компания работает над созданием подобных программ для мостов.

Подобная система мониторинга, наличие программ сбора и обработки данных обследования дорог, впечатляющая визуализация заслуживает внимания и одобрения. Компании TÜV Rheinland Schniering GmbH и Heller Engineering Ltd. проводят обследования дорог в нескольких странах Европы и готовы прийти на рынок России.

#### Список литературы:

1. Федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России (2010-2015)». Подпрограмма «Автомобильные дороги»: - М., 2008.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ФРАКТАЛОВ В ВОПРОСАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Соколов И.В., канд. техн. наук

*Военно-технический университет при Спецстрое России*

Парки строительных машин и производственные комплексы, в состав которых входит множество технологического оборудования, являются сложными техническими системами с многочисленными внутренними и внешними взаимодействиями.

Многочисленные исследования динамики отказов и выхода из строя оборудования, а так же наблюдения за процессами технического обслуживания и ремонта позволили накопить достаточно статистической информации, из которой видно, что фазовая смена работоспособного состояния в неработоспособное, а так же исправного в неисправное происходит с некоторой периодичностью независимо от стратегии управления техническим состоянием.

Особенно такая регулярность и повторяемость имеет место в технических системах с многочисленным оборудованием, имеющим различные физические принципы работы, в таких как бетононасосный комплекс. Из рисунка 1 видно, что промежутки наработки до неисправного состояния ( $\Delta t_{1s} \approx \Delta t_{5s} \approx \Delta t_{9s} \approx \Delta t_{13s}$ ;  $\Delta t_{2s} \approx \Delta t_{6s} \approx \Delta t_{10s} \approx \Delta t_{14}$ ;  $\Delta t_{3s} \approx \Delta t_{7s} \approx \Delta t_{11s} \approx \Delta t_{15s}$ ;  $\Delta t_{4s} \approx \Delta t_{8s} \approx \Delta t_{12s} \approx \Delta t_{16s}$ ) и временные интервалы нахождения оборудования в ремонте повторяются с определённой частотой и периодом  $\Delta T$ .

Но это не связано с планово-предупредительной системой технического обслуживания и ремонта, это значит, что мы имеем дело с нелинейными связями и недетерминированной природой данных. Принципы нелинейности и альтернативы выбора развития любого процесса, развития системы реализуется и при построении фракталов, которые применяются в том случае, когда объект имеет несколько вариантов развития и состояние системы определяется положением, в котором она находится на данный момент. То есть мы пытаемся смоделировать хаотичное развитие.

Фракталы – это математические, антропогенные или природные множества (объекты), которые в любом масштабе в одинаковой степени обладают свойством подобия, т.е. это структуры, в которых части подобны целому. Математическая теория самоорганизации заставляет нас по-новому взглянуть на окружающий нас мир [4].

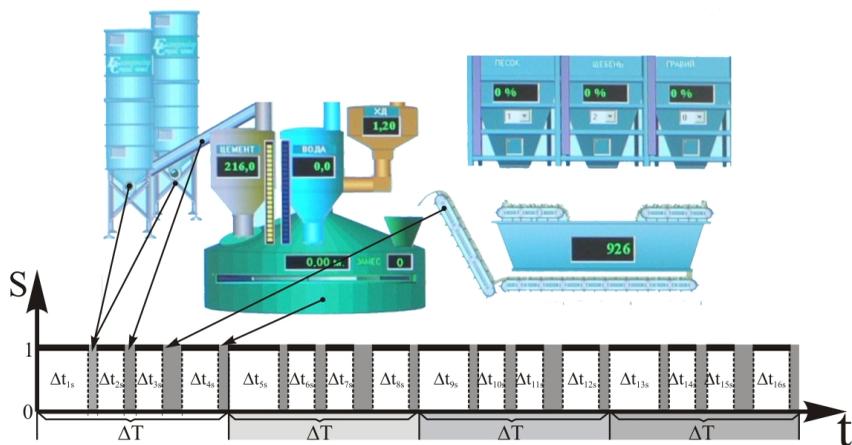


Рисунок 1. – Графическая интерпретация фазового перехода состояний (исправное – неисправное, работоспособное-неработоспособное) оборудования БРК

В физике фракталы проявляются при моделировании нелинейных процессов, сложных процессов диффузии-адсорбции, пористых материалов, популяций и для описания систем внутренних органов (система кровеносных сосудов). Одним из ярких примеров построения фрактальной структуры является модель Коха, так как каждая ее часть является уменьшенным изображением всей кривой (рис.2). Данная модель используется для моделирования турбулентных течений жидкости [1,2,4].

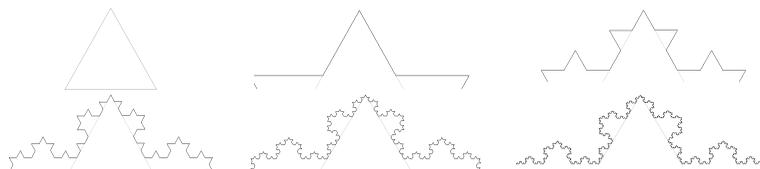


Рисунок 2 - Модель Коха (этапы построения кривой)

Таким образом, фрактальные системы являются диссипативными и характеризуются множеством аттракторов или множествами, имеющими размерность меньшую размерности пространства состояний.

Здесь под множеством понимается некоторая  $k$ -мерная поверхность, содержащаяся в  $N$  – мерном пространстве и описываемая следующей системой уравнений:

$$M_j(x_1, x_2, \dots, x_N) = 0 \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, k \\ k < N \end{cases}, \quad (1)$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_N$  элементы  $N$ - мерного вектора состояний системы;  $M_j$  – некоторая функция этих элементов. Такие множества называются аттракторами, отмечая тот факт, что они являются ограниченными подмножествами, к которым сходятся области начальных состояний пространства состояний нулевого объёма с течением времени  $t$ . Это множество может состоять из одной точки в пространстве, в таких случаях говорят о точечном аттракторе. Это множество может так же принимать форму периодической орбиты, в этом случае говорят об устойчивом предельном цикле [5].

Последние десятилетия теорию фракталов стали использовать при анализе курса фондовых бирж, валютных и торговых рынков. Действительно, фрактальность как самостоятельное понятие геометрической размерности было введено математиком Б.Мальдебротом применительно к биржевым процессам.

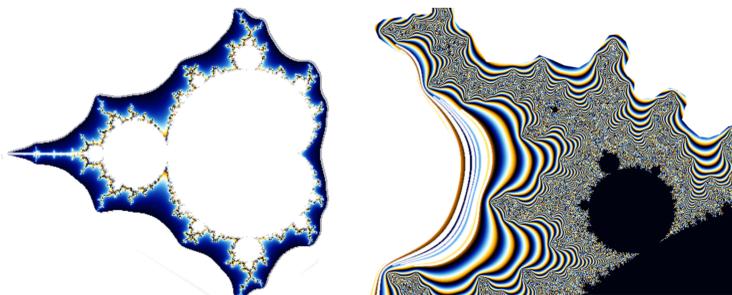
Бенуа Мандельброт предложил модели фракталов, которые уже стали классическими и часто используемыми для демонстрации, как типичного примера самого фрактала, так и для демонстрации красоты фракталов, которая также привлекает исследователей, художников, просто интересующихся людей (рис.3) [1,2,5,6].

Математическое описание модели следующее: на комплексной плоскости в некоем интервале для каждой точки  $z$  вычисляется рекурсивная функция:

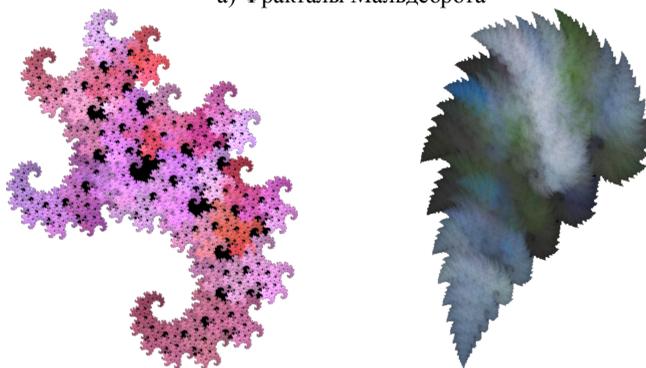
$$Z \rightarrow Z^2 + c, \quad (2)$$

после  $N$  повторений данной процедуры вычисления координат точек, на комплексной плоскости появляется удивительно красивая фигура.

Возвращаясь к строительным машинам и оборудованию можно отметить подобие процессов изменения технического состояния и рыночных цен. В середине века двадцатого известный американский финансист Ральф Эллиот предложил свою теорию поведения цен на акции, которая была основана на использовании теории фракталов. Эллиот исходил из того, что геометрия фракталов имеет место быть не только в живой природе, но и в общественных процессах. К общественным процессам он относил и торговлю акциями на бирже. Основой теории служит так называемая волновая диаграмма. Волна – это различимое ценовое движение [1,3].



а) Фракталы Мальдеброга



б) Модели Джулии

Рисунок 3 - Графическая интерпритация фрактальных структур

Следуя правилам развития массового психологического поведения, все движения цен разбиваются на пять волн в направлении более сильного тренда, и на три волны – в обратном направлении. Например, в случае доминирующего тренда мы увидим пять волн при движении цены вверх и три – при движении (коррекции) вниз (рис 4).

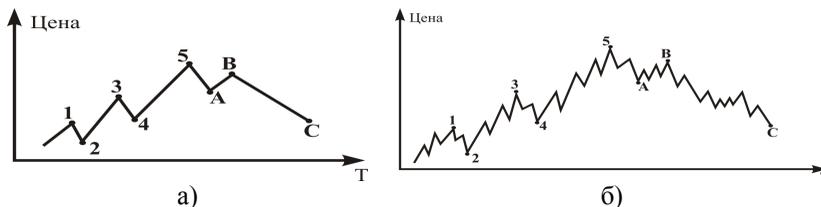


Рисунок 4 - Волновая диаграмма Эллиота: (а) - обычный вид, (б) – увеличенный вид

Для обозначения пятиволнового тренда используют цифры а для противоположного трехволнового – буквы. Каждое из пятиволновых движений называют импульсным, а каждое из трехволновых – коррективным. Поэтому каждая из волн 1, 3, 5, А и С является импульсной, а 2, 4 и В - коррективной.

Таким образом, фрактальность выражается в наличии характерных структур, обладающих верхними и нижними границами (имеются в виду пространственно-временные границы самой системы и её структурно-функциональные особенности).

Примерно такой же характер имеет и процесс изменения техническим состоянием строительных машин и технологического оборудования, но конкретные математические модели будут разработаны после более детального изучения структуры изменения параметров данного оборудования, что является направлением дальнейших исследований.

Что же нам дает применение фракталов? Они позволяют намного упростить сложные процессы и объекты, что очень важно для моделирования. Позволяют описать нестабильные системы и процессы и, самое главное, предсказать будущее таких объектов.

#### Список литературы:

1. *Погодаева, Е. А.* Теория фракталов и ее применение [Текст] / Е.А. Погодаева, С.В. Четвериков, Т.В. Толстикова // Доклад по экономико-математическим моделям и методам. – Иркутск, 1997. – 14 с.
2. *Шейпак, И. А.* Фракталы, графталы, кусты [Текст] / И.А. Шейпак // Химия и жизнь. – 1996. - № 6. – С. 14-16.
3. *Эрлих, А.* Технический анализ товарных и фондовых рынков [Текст] / А. Эрлих. - М: Инфра-М, 1996. - 214 с.
4. *Твердислов, В. А.* Синергетические аспекты региональной и глобальной экологии [Текст] / В.А. Твердислов, А.Э. Сидорова, А.В. Дмитриев. – Липецк: ГУ «Издательский дом «Липецкая газета», 2009. - 352 с.
5. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006 [Текст]. – 1104 с.: ил. – Парал. тит. англ.
6. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature, San Francisco: Freeman [Текст], 1982.

## ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МОДЕРНИЗАЦИИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

(на примере Борисовского района, Белгородской области)

**Тарасюк П.Н., аспирант,  
Трубаев П.А., д-р техн. наук, профессор**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Состояние коммунального хозяйства Борисовского района характеризуется дотационностью отрасли, высокой затратностью, отсутствием приборов учета по вырабатываемой теплоте, высокой степенью износа котельных и технологического оборудования тепловых трасс, связанные с износом значительные потери тепла, воды и других ресурсов.

Цель и задача программы планируется за счет привлечения заемных средств (рис.1.). Планируется взять кредит сроком на семь лет. Гарантом обеспечения кредита будет выступать администрация муниципального района. Возврат кредита будет производиться за счет статьи «амортизация» себестоимости.

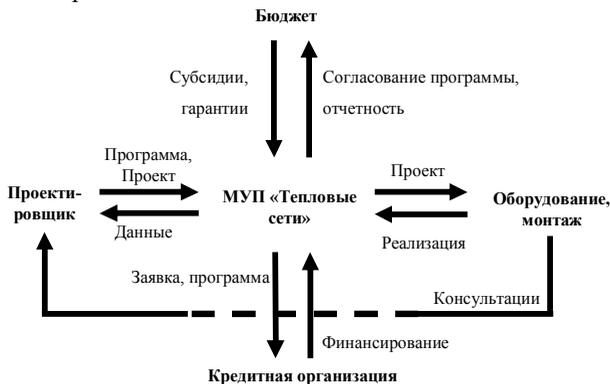


Рис. 1. Схема финансирования

Кредитные средства планируется привлекать в течении трех лет с ставкой 10,5% в год. Погашение кредита будет производиться по схеме, когда равномерно гасится основная часть кредита и выплачиваются проценты на остаток кредита.

Для прогнозирования денежных потоков инвестиционного проекта необходимо учесть обесценивание денежных потоков. Для оценки изменения стоимости энергоресурсов, средней заработной платы и инфляции использован прогноз социально-экономического развития на период до 2013 года.

Основные составляющие денежных потоков – стоимость энергоресурсов, заработная плата, а также инфляция имеют значительно отличающийся рост, что не позволяет их усреднить в единой ставке дисконтирования, так как это приведет к не полной предсказуемости конечного результата. Кроме того, целью проекта является не увеличение прибыли, а снижение издержек, то есть себестоимости отпускаемой тепловой энергии. Поэтому для анализа вместо метода дисконтирования использована более трудоемкая методика, предусматривающая корректировку всех факторов, влияющих на денежные потоки сравниваемых проектов. Анализ производился в ценах расчетного периода, то есть без приведения денежных потоков к единой базе.

В результате были определены денежные потоки в течении времени выполнения инвестиционного проекта (табл. 1.).

Таблица 1

Оценка ожидаемого движения денежных средств (в ценах 2011 года)

Год	Сумма займа (с учетом инфляции)	Погашение займа	Проценты	Возврат средств, всего	Эффект от проведенных мероприятий (с учетом прогноза инфляции, роста цен на энергоносители и заработной платы)
2012	14139	1414	1400	2814	3686
2013	17578	4586	2829	7414	8448
2014	22355	8579	4344	12923	15563
2015	–	10814	3155	13969	20466
2016	–	10814	1965	12779	22631
2017	–	9400	931	10331	25022
2018	–	6229	246	6475	27662
2019	–	2236	–	–	30577
2020	–	–	–	–	33796

2021	–	–	–	–	37350
Всего	54072	54072	14870	66706	225200

Изменение структуры себестоимости после модернизации позволяет после завершения всех мероприятий по реконструкции прогнозировать снижение себестоимости тепловой энергии на 25,5% (табл. 2).

Таблица 2

Структура себестоимости (в ценах 2010 г.)

Показатели	До модернизации		После модернизации		Изменение	
	тыс. руб.	руб./ Гкал	тыс. руб.	руб./ Гкал	руб./ Гкал	%
Всего	52843	1462,4	44401	1088,9	-373,5	-25,5
в том числе:						
Энергоресурсы						
Топливо	27214	753,2	24073	666,2	-86,9	-5,9
Электроэнергия на производственные нужды	4840	133,9	2782	77,0	-56,9	-3,9
Вода	711	19,7	711	19,7	–	–
Прямые затраты						
Затраты на оплату труда (основного производственного персонала) с ЕСН	9297	257,3	0	0,0	-257,3	-17,6
Ремонт	2971	82,2	505	14,0	-68,2	-4,7
Амортизация	1077	29,8	5054	–	–	–
Услуги производственного характера	298	8,3	298	8,3	–	–
Общехозяйственные расходы						
Затраты на оплату труда с ЕСН	1001	27,7	1001	27,7	–	–
Служба диспетчеризации	–	–	4542	125,7	125,7	8,6
Прочие расходы	5434	150,4	5434	150,4	–	–

По результатам корректировки статей себестоимости с учетом инфляции, изменения стоимости энергоресурсов, заработной платы и проводимой модернизации получен прогноз себестоимости тепловой энергии в течении 10 лет. Как видно из графика, себестоимость будет расти, но темпы роста будут значительно ниже, чем в старых условиях (рис. 2).

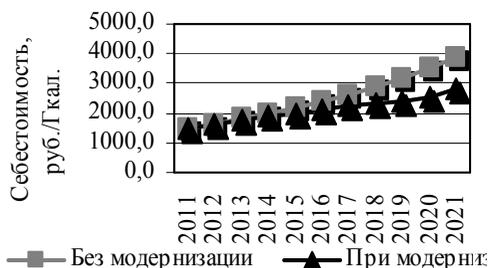


Рис. 2. Прогноз себестоимости тепловой энергии (в ценах рассматриваемого года)

Таким образом инвестиционный проект можно считать экономически обоснованным.

При выполнении программы риски могут быть вызваны следующими причинами.

1. Снижение подключенной нагрузки после установки приборов учета. В этом случае прогноз развития ситуации показывает, что себестоимость будет расти, но относительный эффект от модернизации, то есть разность между себестоимостью в проекте и без него, останется без изменения.

2. Непрогнозируемый рост стоимости энергоносителей (рис. 3). В этом случае себестоимость также будет расти, как при выполнении модернизации, так и без нее, но относительные показатели инвестиционного проекта улучшатся.

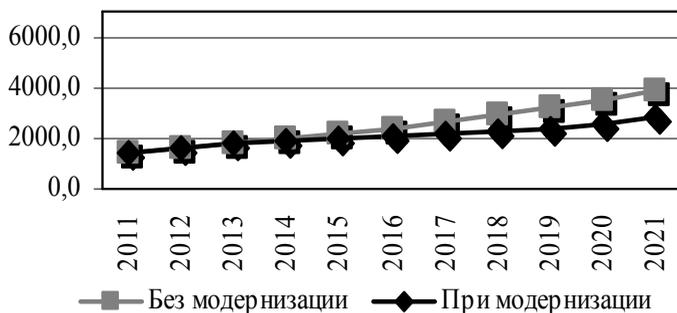


Рис. 3. Прогноз себестоимости теплоты  
(при ежегодном увеличении стоимости энергоресурсов на 25%)

3. Увеличение кредитной ставки (рис. 4). В этом случае показатели ухудшатся в первые годы выполнения программы. После снижения оставшейся суммы кредита, с которой выплачиваются проценты, проект вернется к показателям базового варианта.

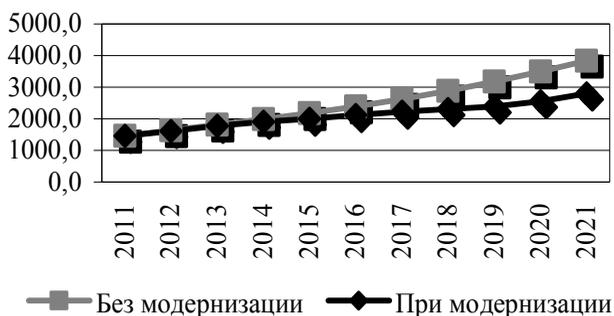


Рис. 4. Прогноз себестоимости теплоты  
(при ставке кредита 25%)

Вывод

Таким образом, возможные риски не приводят к ухудшению положения и отрицательной рентабельности проекта.

#### Список литературы:

1. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: Учеб. пособие / Под общ. ред. М.Н. Федорова. – М.: ИНФРА- М, 2008.
2. Слепченко, В. С. Отопительные котельные малой мощности / В.С. Слепченко, В.Д. Быстров, М.Л. Зак, Е.Л. Палей // Новости теплоснабжения. – ГУП «ТЭКСПб»; 2004. –№ 9.

## **ОБРАЗОВАНИЕ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ ПРИ ПОМОЛЕ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ МЕЛЬНИЦАХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В КОНТАКТНОЙ ЗОНЕ**

**Траутвайн А.И., аспирант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им В.Г. Шухова*

Механизм образования поверхности – это результат механического измельчения и сопутствующего ему процесса механической активации [1]. При образовании поверхности возникают структурные неоднородности на молекулярном и надмолекулярном уровне. Следует также учитывать макрорельеф поверхности, отражающей структурные свойства.

Взаиморасположение, состав и концентрацию атомов на поверхности определяют состав (соотношение между атомами) и кристаллическая структура минералов. Кроме того, определенную роль оказывает и изменение межполосных различий в направлении нормали к поверхности для ближайших к ней атомных слоев – релаксация, а также изменение симметрии и межатомных расстояний в поверхностном слое – реконструкция.

Функциональные характеристики поверхности разнообразны [2]. Различают химические структурно-функциональные группы, активные группы, физическую структуру – степень кристалличности, ориентацию отдельных кристаллов доменов макромолекул, морфологию поверхности. Определено [3], что любые искажения кристаллической решетки при воздействии внешних сил (температуры, давления, электрических процессов и др.) приводит к увеличению запаса потенциальной энергии поверхности заполнителя, что способствует росту адсорбционного потенциала.

Развитие аппаратов для измельчения и активации связано с появлением новых конструкционных материалов, повышением требований к дисперсности и форме частиц измельчаемых материалов и появлением материалов, нуждающихся в измельчении, с самыми разнообразными физико-механическими свойствами, а также необходимостью экономии ресурсов и энергии. Число типов и размерностей аппаратов, отличающихся конструктивными параметрами, производительностью и другими характеристиками, постоянно увеличивается [4]. Поэтому целью данного исследования

явилось выявление наиболее рационального помольного агрегата не только с точки зрения увеличения дисперсности исходного материала, но и повышения реакционной способности и, как следствие, получения композитов на их основе с высокими физико-механическими характеристиками. Более того, интерес представляет и изучение поверхностных свойств измельчаемых материалов и сопоставление их с показателями уже готового продукта.

Исследования проводились на таких материалах, как кварцевый песок, гранит, кварцитопесчаник Лебединского ГОКа и отходы мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (отходы ММС).

Помол материала производился с использованием трех различных лабораторных мельниц: шаровой планетарной, вибромельницы и вибрационного истритателя.

Гранулометрический состав наполнителей оказывает влияние на свойства асфальтобетонных смесей с их использованием. Он важен, в первую очередь тем, что содержание частиц определенной величины может существенно сказаться на активности его поверхности [2]. От величины частиц наполнителя напрямую зависит удельная поверхность последнего и соответственно – активность. Гранулометрический состав минеральных порошков, измельченных в различных мельницах, определялся с помощью лазерного анализатора частиц с распределением по долям поверхности.

Следует отметить, что материалы, различной природы при измельчении в одной и той же мельнице имеют идентичный профиль гранулометрического состава. Поэтому, можно говорить о том, что механизм измельчения в различных помольных агрегатах независимо от вида загружаемого материала одинаков.

Для наполнителей, измельченных в вибромельнице, характерно равномерное распределение частиц в области от 1,1 до 27,1 и отсутствие частиц размером более 60 мкм, в то время как для вибрационного истритателя высоко содержание частиц в области от 18,2 до 75 мкм. Кривая гранулометрического состава для шаровой планетарной мельницы в области от 0,33 до 12,2 мкм аналогична таковой для вибромельницы, однако проходит несколько выше, затем наблюдается пик в области от 18,2 до 60,4 мкм, что сходно с вибрационным истритателем. Отличие заключается в количественном соотношении частиц указанного диапазона. При помоле материала в вибрационном истритателе их количество достигает 10%, а в шаровой планетарной мельнице – не превышает 7%. Отсюда можно сделать вывод, что в начале измельчения материала в шаровой планетарной мельнице,

характер помола в ней сходен с измельчением в вибрационном стирателе (стирающее воздействие), а затем он частично переходит в ударное воздействие, как и в вибромельнице.

Одним из наиболее эффективных способов увеличения прочности сцепления битума с минеральными материалами в асфальтобетонах является интенсификация физико-химических процессов взаимодействия в зоне контакта, что может быть достигнуто использованием заполнителей и наполнителей с активной поверхностью или модифицированием.

В работе [5] нами была установлена зависимость изменения активности поверхности различных материалов при помоле от величины их удельной поверхности.

Целью следующего этапа исследования явилось установление влияния свойств поверхности материалов, измельченных в различных помольных агрегатах, на взаимодействие с вяжущим, и на основе этого получение органоминеральных композитов высокого качества.

Исследования проводились на вязком битуме БНД 60/90 и свежеразмолотых минеральных порошках из кварцитопесчаника и гранита, измельченных в шаровой мельнице до удельной поверхности  $350 \text{ м}^2/\text{кг}$ , а для сравнения – на минеральных порошках, выдержанных на воздухе в течение недели.

Полученные результаты по адсорбции-десорбции [6] наглядно подтверждают предположение о зависимости активности процессов взаимодействия битума с различными минеральными материалами от количества центров адсорбции на их поверхности. Характер происходящих адсорбционных процессов определяет различие в адсорбционной способности разных минеральных порошков по отношению к вяжущему.

Наибольшая адсорбционная способность зафиксирована у минерального порошка из кварцитопесчаника, что объясняется более активным химическим взаимодействием. Наличие хемосорбционных процессов между битумом и минеральным материалом обуславливает более высокое сцепление битумной пленки с поверхностью минерального материала [7].

Отслаивание части битума с поверхности минерального материала, указывает на то, что адсорбированный слой битума на поверхности минеральных частиц состоит из прочно, то есть химически связанного и обратимо-, то есть физически связанного битума.

Так, на поверхности свежеразмолотого кварцитопесчаника после десорбции битума бензолом осталось 50% первоначально

адсорбированного вяжущего, а на поверхности выдержанного на воздухе 36%. На поверхности свежеразмолотого гранита – 42%, выдержанного на воздухе – 28%. Увеличение количества необратимо адсорбированного битума на поверхности свежеразмолотых минеральных порошков можно отнести за счет происходящих между органическими и минеральными материалами хемосорбционных процессов. Причем наилучшее взаимодействие происходит с поверхностью кварцитопесчаника, что полностью согласуется с величиной концентрации активных центров [5].

Кроме этого, на основании данных [5] была выявлена взаимосвязь между увеличением концентрации обменных центров в результате помола и улучшением физико-механических показателей асфальтовяжущего с использованием свежеразмолотых минеральных порошков. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Взаимосвязь активности поверхности минеральных порошков и физико-механических показателей асфальтовяжущего

Наименование материала	Увеличение активности поверхности порошков, %	Прирост предела прочности при сжатии асфальтовяжущего при 20 °С, %	Увеличение коэффициента водостойкости асфальтовяжущего, %
Песок	100	39	43
Кварцито-песчаник	43	22	26
Гранит	41	24	23
Отходы ММС	38	20	21

Таким образом, в результате механоактивации минеральных порошков повысилась их реакционная способность по отношению к битуму, что должно положительно повлиять на физико-механические характеристики и долговечность асфальтобетона, причем наиболее эффективно использовать для помола шаровую планетарную мельницу.

#### Список литературы:

1. *Круглицкий, Н. Н.* Способы модифицирования микронаполнителей / Н.Н. Круглицкий, Г.Р. Вагнер, Е.И. Прийма, Л.А. Кулик // Строительные материалы и изделия. – 1981. - № 4. – С. 27-28.

2. Сычев, М. М. Природа активных центров и управление элементарными актами гидратации / М.М. Сычев, В.М. Сычев // Цемент. – 1990. - № 5. – С. 6-7.
3. Вяжущие и композиционные материалы контактного твердения / В.Д. Глуховский [и др.]. – К.: Вища шк., 1991. – 243 с.
4. Кургузиков, А. М. Разработка и исследование пружинных аппаратов для измельчения и активации строительных материалов: Дисс. ... канд. техн. Наук / А.М Кургузиков. – Могилев, 1995. – 283 с.
5. Траутвайн, А. И. Повышение реакционной способности наполнителей в результате помолам / А.И. Траутвайн, В.В. Ядыкина, А.М. Гридчин // Строительные материалы. – 2010. - № 12. - С. 81-83.
6. Траутвайн, А. И. Влияние поверхностных свойств минеральных порошков после помола на их взаимодействие с битумом / А.И. Траутвайн // Международная научно-техническая конференция молодых учёных БГТУ им. В. Г. Шухова «Эффективные материалы, технологии, машины и оборудование для строительства и эксплуатации транспортных сооружений», 3-4 дек. 2009. – Белгород: издательство БГТУ, 2009. – С. 391-395.
7. Ядыкина, В. В. Взаимодействие метаморфогенного кварца с битумом / В.В. Ядыкин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2003. - № 2. – С. 25-26.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПСМ

**Уваров В.А., д-р техн. наук, профессор**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Промышленность строительных материалов включает в себя более 25 отраслей, таких как производство: вяжущих, стеновых, кровельных, отделочных материалов, железобетонных изделий, стекла и т.д.

Технологические комплексы этих производств существенно отличаются как по составу оборудования, так и по режимам работы. Однако все они соподчинены общим требованиям к их инновационному развитию, которые можно сформулировать следующим образом:

- обеспечение экологических требований и норм;
- повышение производительности;
- повышение качества производимой продукции;
- снижение энергоёмкости и материало-ёмкости;
- снижение эксплуатационных расходов;
- повышение надёжности и долговечности;
- простота в обслуживании и ремонте;
- автоматизация и компьютеризация;
- обеспечение условий труда и техники безопасности обслуживающего персонала.

В рамках одной статьи не представляется возможным рассмотреть направления инновационного развития оборудования всех отраслей ПСМ. Остановимся лишь на наиболее энерго- и металлоёмких.

Как известно, производство цемента является основополагающим для строительного комплекса любой страны. К настоящему времени в России насчитывается 47 цементных заводов с общей потенциальной производительностью чуть более 70 млн. тонн в год, которые произвели в 2010 году около 51 млн. тонн цемента. Согласно исследованию экспертов некоммерческой организации «Союзцемент», рост производства цемента в России в 2011 году составит 16-17 %.

В целом, 89% производства приходится на мокрый способ, 9% - на сухой и 2% - на другие технологии.

Подавляющее большинство российских заводов, работающих по мокрой технологии, было построено в 50 – 70-х годах прошлого века. Их техническая база морально и материально устарела. Износ достигает 50-75%, затраты на их эксплуатацию постоянно растут, а

энергопотребление печных линий в два раза превышает энергопотребление современных печных линий, работающих по сухой технологии.

Сравнивая российское и мировое производство цемента можно сделать следующие выводы.

Первым направлением в совершенствовании действующих заводов на территории России, особенно в случае высокой влажности исходного сырья, может быть применение комбинированного способа производства. Снижение влажности исходного шлама до 14...19%, а также сушка полученного кека отходящими печными газами в сочетании с рассматриваемыми ниже техническими достижениями позволят снизить расход условного топлива до 100 кг/т клинкера. При реализации этого направления краеугольным камнем для осуществления проектов являются вопросы разработки, внедрения и эксплуатации пресс-фильтров. Что входит в сферу компетенции ученых нашего университета.

Второе направление – применение сухого способа производства с циклонными теплообменниками и запечными кальцинаторами. Надо сказать, данное направление уже интенсивно реализуется на ряде российских заводов.

Переход на сухой способ производства с циклонными теплообменниками и запечными кальцинаторами даст следующие преимущества для печных агрегатов:

- снижение габаритных размеров печи, а значит металлоемкости и требующихся площадей размещения;
- меньшие капитальные вложения, легкость обслуживания;
- существенное снижение веса печи, что позволяет упростить привод печи и отказаться от дорогостоящего привода зацепления. Это позволяет применять двухопорные печи.

Двухопорная конструкция вращающейся печи существенно повышает ее надежность, а также снижает потребляемую мощность. Отсутствие дорогостоящей зубчатой передачи значительно удешевляет конструкцию привода печи. Так, например, компания Krupp Polysius (Германия) разработала фрикционный привод печи POLRO, в котором нет зубчатого зацепления (рис. 1).

В этом случае мощность, необходимая на вращение печи, передается через опорные ролики непосредственно на бандаж печи, который проворачивает ее корпус.

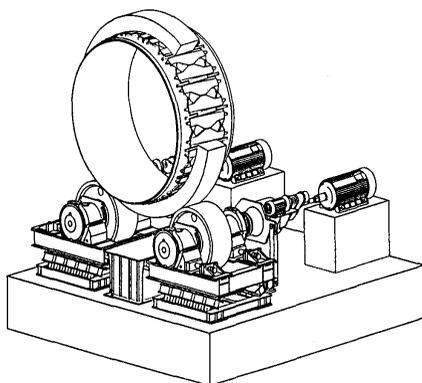


Рис. 1. Фрикционный привод печи

Применение циклонов с пониженным гидравлическим сопротивлением позволяет увеличить число ступеней в теплообменнике с 4-х до 6-и при той же потребляемой дымососами мощности, что повышает эффективность процессов.

Применение изменяемых декарбонизаторов (рис. 2), приспособленных для сжигания всех видов природного и вторичного топлива, обеспечивает равномерное распределение по его сечению сырьевой муки, топлива и воздуха для горения при максимально полном сгорании топлива, включая альтернативное, при высокой степени декарбонизации (до 95 %) сырьевой муки.



Рис. 2. Схема использования изменяемых декарбонизаторов

С целью увеличения подачи тепловой энергии на стадии кальцинации сырья в башне теплообменника устанавливается дополнительная обжиговая камера и канал кальцинирования (рис. 3).

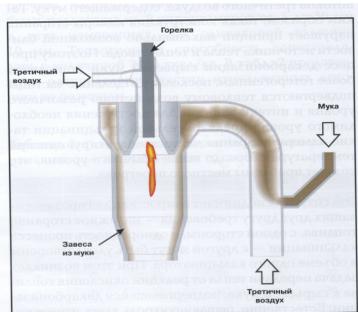


Рис. 3. Схема обжиговой камеры

В камере кальцинирования используется как уголь, так и альтернативные виды топлива. Воздух для горения поступает из клинкерного охладителя по дополнительному воздуховоду третичного воздуха.

Охладители переталкивающего типа в последнее время являются предметом серьезных инвестиций в повышение эффективности цементного производства. При сухом способе производства цемента они позволяют экономить до 40% топлива (при мокром способе – до 14%). Разработкой новых охладителей переталкивающего типа занимаются все ведущие компании – производители цементного оборудования.

В разработанных и эксплуатируемых по всему миру колосниковых охладителях клинкера мощностью до 8000...12 500т/сутки используются новые принципы охлаждения клинкера с гидравлическим приводом решеток, компьютерным управлением подачи охлаждающего воздуха под каждый колосник, а также оптимизации траектории движения этого воздуха, которая в разы длиннее траектории движения воздуха чем в традиционных колосниковых охладителях, что позволяет повысить теплоотдачу и снизить расход охлаждающего воздуха до 1,4...1,5 м<sup>3</sup>/кг клинкера. За счет большего количества возвращаемого в печь, тепла расход топлива в них составляет 195...210кг условного топлива на тонну клинкера.

Так компания IKN GmbH (Германия) на базе ранее разработанной ею же системы распределения клинкера в зоне его падения, известной

во всем мире как система KIDS, предложила новый колосниковый охладитель (рис. 4).



Рис. 4. Маятниковый охладитель компании IKN GmbH

Охладитель оснащен системой KIDS 2 с вентилятором высокого давления, вся колосниковая решетка представляет собой одну плоскость 1, подвешенную на нескольких маятниках 3. Так как вся система с охлаждаемым материалом свободно подвешена и имеется минимальное количество подвижных частей, то для ее привода установлен только один гидравлический привод, расположенный по оси охладителя. В центральной части печи установлен тепловой экран 4, позволяющий регулировать тепловые режимы печного агрегата. Охлажденный клинкер измельчается многовалковой дробилкой 5.

Сущность системы KIDS заключается в установке жесткой, неподвижной, наклонной колосниковой решетки в зоне падения клинкера на колосниковую решетку. Колосниковая решетка состоит из плит с вентиляционными шлицами, в которых от вентилятора высокого давления создаются горизонтальные струи воздуха. Наклонная колосниковая решетка обеспечивает ровное распределение горячего клинкера по решетке.

Компания Krupp Polysius (Германия) предлагает охладитель POLYTRACK, схема которого представлена на рис. 5.

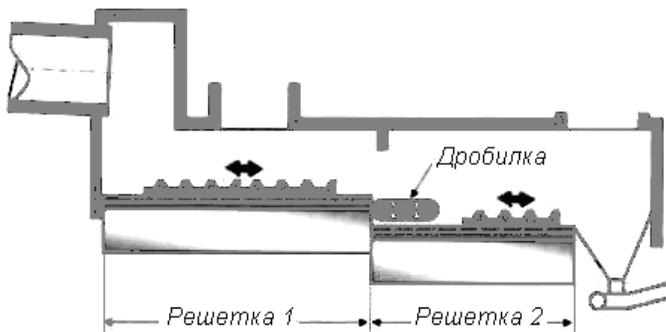


Рис. 5. Охладитель клинкера POLYTRACK

Особенностью данного охладителя является то, что: в нем также отсутствуют перфорированные колосники, благодаря чему они значительно меньше изнашиваются; между первой и второй решетками установлена многовалковая дробилка, что позволяет использовать для охлаждения клинкера меньшее количество воздуха; значительно меньшая высота охладителя; модульная конструкция охладителя, позволяющая сооружать из отдельных блоков установки любой производительности.

Компания HUMBOLDT WEDAG (KHD) разработала охладитель, в котором клинкер транспортируется по принципу «гуляющего пола», а аэрация управляется саморегулирующимися клапанами (рис. 6).

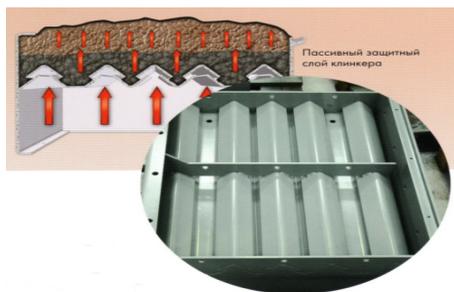


Рис. 6. Охладитель клинкера компании KHD

Конструкция холодильника состоит из нескольких установленных рядом друг с другом дорожек в направлении транспортировки клинкера. Принцип действия основывается на том, что эти дорожки движутся вперед одновременно, а в обратном направлении таким образом, что смежные дорожки не перемещаются в одно и то же время. Слой клинкера ведет себя как твердое тело, удерживаемое на месте большей частью неподвижных дорожек, в то время как смежная дорожка движется назад. Аэрируемая решетка в которой отсутствуют подверженные износу переталкивающие элементы набирается из отдельных кассет. При движении дорожек вперед и в обратном направлении в кассетах постоянно остается защитный слой клинкера.

Удельный расход электроэнергии при производстве цемента по различным данным составляет от 100 до 120кВт·ч/т. При этом более 75 % энергии расходуется на измельчение: дробление, помол сырья, помол клинкера и добавок, помол угля.

Наиболее энергоемким является процесс помола клинкера и добавок, на что затрачивается до 40...45кВт·ч/т электроэнергии.

Для помола клинкера и добавок используется широкий спектр конструкций дробильно-помольных агрегатов.

Различные компании предлагают пресс-валковые измельчители (рис. 7) с размалывающим усилием от 2 до 32МН с валками диаметром от 1 до 2,6м. При этом самый крупный имеет мощность 3000кВт. Степень измельчения в в таких установках достигает 60.

При сравнительно небольших затратах энергии – 4...5кВтч/т в продукте может содержаться 30...35% фракции минус 80 мкм.

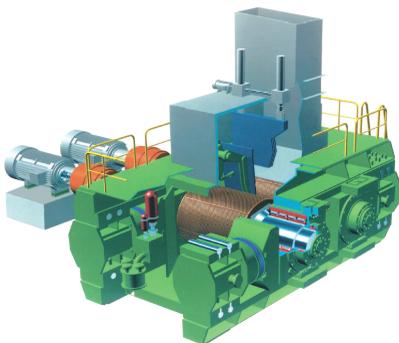


Рис. 7. Пресс-валковый измельчитель



цилиндра, формируя при этом однородный слой, затягиваемый в щель между цилиндром и валком, где и происходит измельчение. В сравнении с шаровыми мельницами, эти мельницы занимают значительно меньше места, бесшумны, при помоле клинкера имеют на 20...30% меньшую энергоемкость и значительно меньшую температуру готового продукта. При производительности 100т/ч в мельнице одновременно находится не более 3т материала, а в контуре мельница – элеватор – сепаратор не более 20т измельчаемого материала.

Не смотря на многообразие конструкций используемых мельниц самое большое распространение получили трубные шаровые мельницы – 85%. Отказаться от их использования в настоящее время не представляется возможным, поэтому производителями постоянно осуществляется их усовершенствование и модернизация.

Так немецкая компания HUMBOLDT WEDAG реализует ТШМ с опорами на башмаки подшипников скольжения и интегральным приводом (рис. 9). Мельница опирается корпусом в цельносварном исполнении на башмаки подшипников скольжения с обеих сторон. В зависимости от типоразмера, для каждого подшипника предусмотрено по одному или по два опорных башмака. При опирании на четыре башмака подшипников скольжения каждые два башмака опираются на качающуюся щеку, шарнирно закрепленную на опоре, что



Рис. 9. ТШМ с опорами на башмаки подшипников скольжения и интегральным приводом

позволяет добиться равномерного распределения нагрузки. Необходимый масляный клин образуется автоматически, благодаря наклонному положению поверхности подшипников относительно плоскости скольжения. Мельница оснащена интегральным приводом,

ключевым элементом которого является двухступенчатый планетарный редуктор, смонтированный непосредственно на разгрузочном конусе.

Одним из существенных резервов повышения эффективности работы ТШМ является замена устаревших конструкций сепараторов на динамический сепаратор. За счет оптимизации зернового состава и снижения удельной поверхности происходит рост производительности помольного агрегата до 20...30% при снижении удельного расхода электроэнергии до 25%.

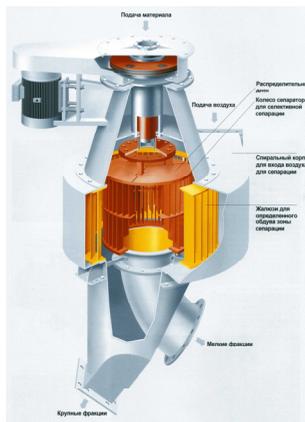


Рис. 10. Динамический сепаратор

Сепаратор SEPMASTER компании HUMBOLDT WEDAG (рис.11) обеспечивает высокую разделяющую способность и не требует большого пространства. Сепаратор имеет существенно меньшие габариты и меньший вес. Привод сепаратора расположен внизу, что облегчает работы по техническому обслуживанию, а также защищает его от зоны нагрева. Сепарация тонких и грубых фракций происходит на периферии корзины ротора за счет воздушного вихря, создаваемого воздушными отражателями и вращением корзины ротора.

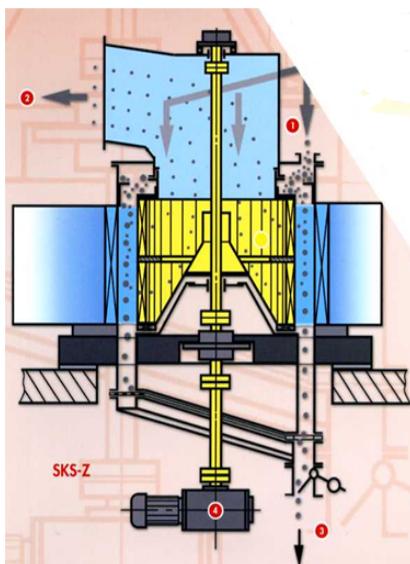


Рис. 11. Сепаратор SEPMASTER

Горизонтально направляемый воздушный поток захватывает тонкие фракции вопреки центробежной силе и вовлекает их внутрь корзины ротора и далее к точке выгрузки готового продукта. Крупные частицы отталкиваются центробежной силой от корзины ротора и выводятся через разгрузочное отверстие крупки.

Каскадный воздушный сепаратор KVT (рис. 12) представляет собой статический воздушный сепаратор прямоугольного сечения для сортировки частиц 0,1-2мм. В продольной плоскости он имеет V-образную компоновку состоящую из трех узлов: вход сортировочного газа, центральная встроенная загрузка материала и выход газа. Вход и выход газа встроены в верхних частях двух наружных узлов. Грубый материал поступает в разгрузочную воронку, в то время как мелкая фракция отводится вместе с воздухом на выход. Загрузка материала предусмотрена в центральном узле, где установлены два ряда каскадных, наклонных перегородок, расположенных друг против друга.



Рис. 12. Схема каскадного воздушного сепаратора KVT

В современных фильтровальных системах в европейских странах наиболее часто используются тканевые фильтры. Основное их преимущество заключается в способности постоянно сохранять высокую улавливающую способность, даже при изменении параметров процесса.

Постепенно осуществляется переход с длины рукава 6м на длину 8м и больше, что позволяет увеличить фильтровальную нагрузку более  $1\text{ м}^3/(\text{м}^2/\text{мин})$  при пылевой нагрузке до  $1000\text{ г}/\text{м}^3$ . Это дает преимущество в снижении капитальных затрат благодаря меньшей площади,

необходимой для установки оборудования при сохранении эксплуатационных и фильтровальных характеристик.

В последнее время практикуется «гибридная» схема фильтрации отходящих газов: электрический фильтр – рукавные фильтры, что позволяет выдерживать высокие экологические требования.

При производстве сухих строительных смесей требуется большое количество фракционированного песка, который необходимо предварительно сушить либо в электрических печах, либо во вращающихся сушильных барабанах. В последнее время находят все большее применение барабаны непрямого нагрева (рис. 13). Преимущество данной конструкции барабана состоит в отсутствии прямого контакта топочных газов с материалом для просушки. Это позволяет получить чистую активную поверхность материала, свободную от продуктов неполного сгорания топлива и экономию на очистке топочных газов от пыли.

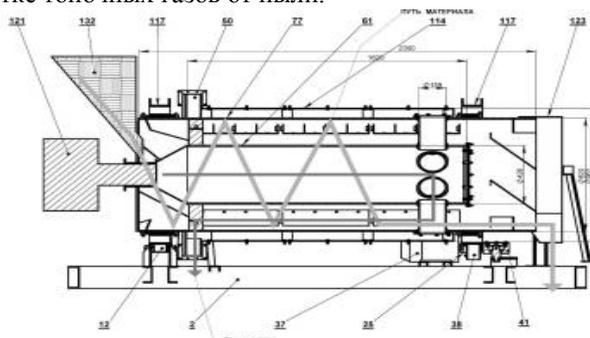


Рис. 13. Схема сушильного барабана непрямого нагрева

Барабан сушильно-фракционирующий (рис. 14) предназначен для установки в технологических линиях тепловой сушки песка и последующего фракционирования с отсевом негабарита. Работает такой барабан следующим образом.

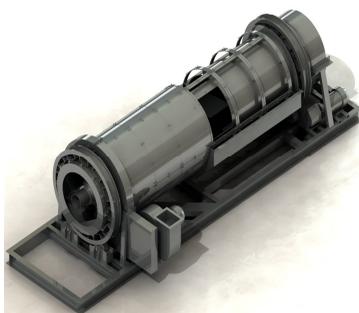


Рис. 14. Барабан сушильно-фракционирующий

Материал через загрузочный лоток поступает в наружный барабан и при вращении барабана постепенно перемещается к выходу барабана. Горячие газы от горелки проходят по внутреннему барабану, далее - по кожуху наружного барабана и удаляются дымососом. Из наружного барабана рабочие фракции поступают в систему кольцевых сит, а крупный негабарит выходит в торец наружного барабана в сборник. Первое кольцевое сито предназначено для отсева мелкого негабарита (пыль, глина). Последующие два сита отсеивают мелкую и среднюю рабочие фракции.

Все большее распространение в производстве ЖБИ находят плоттер-роботы для установки и снятия опалубки (рис. 15).

Контуры бетонных элементов, получаемых из САД, переносятся плоттером в масштабе 1:1 на поверхность формы.

Для повышения степени автоматизации может дополнительно использоваться робот для установки и снятия опалубки. Робот для установки опалубки забирает из магазина нужный опалубочный элемент и укладывает его точно по размеру на поверхность формы. Специальные, нестандартные части опалубки укладываются дополнительно вручную.

Робот для снятия опалубки опознает опалубку через сканирование плоской поверхности формы и снимает её автоматически.



Рис. 15. Плоттер-робот для установки опалубки

Разработанная российскими учеными технология производства кирпича методом жесткой экструзии (рис. 16) предусматривает формование кирпича на ленточном прессе при влажности глины 12-14%.

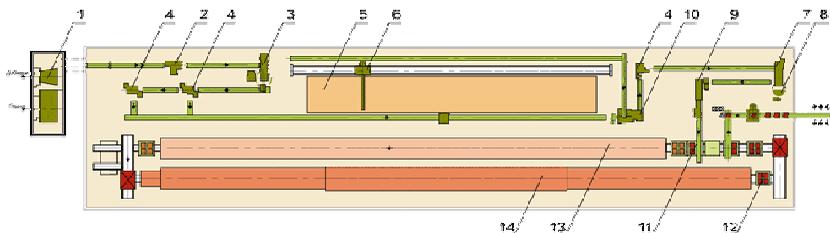


Рис. 16. Схема производства керамического кирпича

- 1 – ящичный питатель; 2 – камневывалительные валцы; 3 – пресс-гранулятор; 4 – валцы тонкого помола; 5 - шихтозапасник; 6 – многоковшовый экскаватор; 7 – смеситель двухвалный; 8 - глинорыхлитель; 9 – пресс жесткого формования с резабельным автоматом; 10 – питатель ящичный; 11 - садчик; 12 - вагонетка; 13 – зона сушки; 14 – печь обжига

Отформованный кирпич имеет высокую прочность, поэтому сразу же после резки он укладывается на обжиговую вагонетку, на которой и происходит процесс сушки кирпича. Поскольку влажность отформованного кирпича незначительна, время его сушки сокращается в несколько раз, что позволяет высушить его за время прохождения обжиговой вагонетки от места садки до печи обжига. Следовательно, резко снижается расход энергоносителей для сушки кирпича. При производстве не применяются сушильные рамки и поддоны.

Нет необходимости в использовании автоматов-укладчиков, накопителей, систем подачи сушильных рамок, электропередаточных тележек, подтопок сушил. А это наиболее дорогое оборудование кирпичного завода. Более чем в полтора раза снижается площадь кирпичного завода и более чем в два раза стоимость его строительства. Сокращается численность обслуживающего персонала.

Отличительной особенностью современных европейских производств силикатного кирпича является применение вместо револьверных прессов высокопроизводительных гидропрессов (рис. 17), которые за один цикл могут сформировать более десятка кирпичин-сырца.



Рис. 17. Гидропресс

Пресса такого типа хорошо подходят при модернизации предприятия, например для замены имеющихся механических прессов с вращающимся столом.

Технология получения кирпича HIPERPRESS основывается на процессе «холодной сварки», происходящем при прессовании мелкомолотого известняка под высоким давлением. Добавка небольшого количества воды и цемента в качестве вяжущего, позволяет довести необходимые давления прессования и глубину помола до технически и экономически приемлемых пределов.

Основные преимущества технологии HIPERPRESS:

- качественный кирпич;
- доступное местное сырье (известняк, цемент и пигмент);
- низкая энергоемкость - отсутствуют сушка и обжиг, присущие керамическому кирпичу, и автоклавная пропарка, присущая силикатному кирпичу;
- низкое содержание цемента (8-10%, что почти в три раза меньше цемента требуемого по технологии вибропрессования);
- прямой экологический эффект.

## СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУР В УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ УЗЛОВ ТРАНСПОРТНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

**Уварова Ю.С., магистрант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

При сборке автомобильных узлов возникает необходимость герметизации мест соприкосновения некоторых деталей друг с другом, для чего служат уплотнительные материалы, подразделяющиеся на прокладочные и набивочные. Из первых готовятся всевозможные прокладки, а из вторых – сальниковые устройства.

Любые уплотнительные материалы должны обладать высокой прочностью, необходимой упругостью (эластичностью) и в то же время иметь не очень большую жесткость (малый модуль упругости). Кроме того, некоторые из такого рода материалов должны быть стойкими при высоких температурах, контакте с нефтепродуктами, водой и т.д.

К наиболее распространенным прокладочным материалам относятся пробка, различные виды химически обработанной бумаги (пергамент, картон, фибра, предельная рабочая температура которых  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), войлок (допускающий нагрев не выше  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), асбест (работоспособный до  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), различные марки паронитов (листы из вальцованных вулканизированных смесей асбеста, каучуков и наполнителей, допускающие нагрев до  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), маслобензостойкий паронит МБП-5 (обеспечивающий надежное уплотнение до  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ферронит 101 (армированный металлической сеткой паронит, работоспособный до  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и др. При изготовлении сальниковых уплотнителей используются как отдельно, так и в сочетании друг с другом металлы, резина, пластмассы, ткани, волокна и войлок.

Как только становится возможным контролировать размеры элементов, становится возможным улучшения свойств материалов и функций устройств. Наноразмерные структуры позволяют создавать уплотнительные материалы с помощью устройств субмикронного масштаба с использованием процессов самоорганизации и самосборки. Это позволит проектировать объекты с позиции функциональности, до уровня единичной детали, тем самым метод структурирования в корне

меняется. Появляется возможность синтезировать наноразмерные структуры с точно контролируемыми размерами и свойствами, формируя большие системы.

Нанотехнологии изменяют взгляд на методологии конструирования, что в свою очередь ведет к революционному прорыву в сфере машиностроения: появляется уникальная возможность понимания иерархии основных элементов сложных систем, а также управления их свойствами.

Особое внимание следует уделить разработкам японского ученого Танигучи, который впервые в 1974 г. использовал термин "нанотехнологии" и обосновал целесообразность перехода к обработке материалов с ультравысокой точностью, для достижения наноразмерного интервала, в связи с чем становится актуальной разработка новых приемов и соответствующего метрологического обеспечения.

Нанотехнологии позволяют изучить характер физико-химических превращений веществ, их свойств и возможности использования. Размер механических деталей определяется материалом и механизмом их изготавливающим, что в свою очередь ограничивает миниатюризацию деталей.

Размер механических деталей определяется материалом и механизмом их изготавливающим, что в свою очередь ограничивает миниатюризацию деталей.

В настоящее время классические технологии требуют дополнения и пересмотра некоторых ее разделов с точки зрения квантовых законов, в которых проявляется волновая природа электрона и других микрочастиц, и сложно предположить, что на уровне наночастиц законы классической технологии не будут работать.

Изучение живого показало, что основные характеристики вещества, явлений и процессов природой формируются в интервале наноразмеров, на молекулярном уровне. Поэтому нанотехнологический подход формирования свойств объектов, переход на молекулярный уровень, определяет фундаментальные параметры вещества.

Представляется, что нанотехнологии позволяют выявить новые физические явления, особые фазовые состояния веществ, в частности объемная фаза не может быть определена однозначно, т.к. проявляются квантовомеханические эффекты, волновая природа процессов переноса и доминирующая роль поверхностей раздела.

Нет достаточного научного обоснования о фундаментальных закономерностях поведения отдельных частиц, структур и целых систем

наноуровня. Стоит задача разработки методики моделирования поведения наночастиц, поскольку их характеристики непрерывно изменяются во времени и пространстве, а число объединяющихся в наносистемы частиц все еще недостаточно велико, чтобы рассматривать эти системы.

Установлено, что в наномасштабе химические и физические свойства материалов меняются, различные физические свойства кластеров достигают своих значений, характерных для объемных материалов, при различных размерах кластеров. Причину таких изменений в свойствах вызывает различие природы индивидуальных взаимодействий атомов, составляющих этот материал и взаимодействий, усредняемых в массивном материале, т.е. следует разделять наночастицу материала от массивной частицы самого материала.

Изучение процессов самоорганизации и клеточного структурирования живых систем указывает на их эффективность, которой управляют законы природы, что в свою очередь позволяет считать возможным реализации или хотя бы частичного переноса законов самоорганизации на системы формируемые нанотехнологическими процессами.

Создание методик проектирования наноструктур следует начинать с классификации нанообъектов, множество которых существует между атомами, а их разнообразие зависит от вещества, формы кластеров и типов связи.

Созданию любого нанообъекта предшествует детальная разработка его структуры и технологии, наиболее приемлемым является молекулярное моделирование, но возникающие проблемы реальности проектируемых физических моделей с точки зрения квантовых законов делают данное моделирование проблематичным.

В связи с этим ключевая роль в разработке наносистем в настоящее время отводится компьютерному моделированию с применением мощного математического аппарата.

Существует несколько основных типов компьютерного моделирования (таб. 1).

Таблица 1

Типы компьютерного моделирования

Тип моделирования	Примеры программ
Визуализационное	RasMol
Вычислительное	Chem3D
Инженерное	NanoXplorer

Визуализационное моделирование. Наиболее простая из современных визуализационных программ – это программа RasMol, которая ничего не рассчитывает, но позволяет наблюдать в трехмерном виде наноструктуры, созданные другими авторами. С помощью этой программы можно рассмотреть структуру, увидеть химические элементы, связи и группы, а так же экспортировать результаты в графический файл.

Вычислительное моделирование. Построение моделей наносистем можно осуществить с помощью программы Chem3D. В этой программе учтены законы квантовой механики, молекулярной динамики и использованы различные статистические подходы. Можно увидеть не только трехмерную модель нанообъекта, но и его поведение при воздействии температуры, электромагнитных полей, гамма-квантов и др. (рис.1).

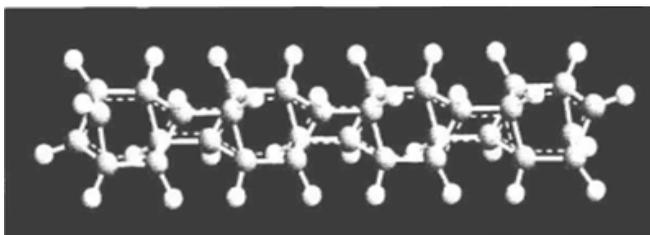


Рисунок 1 – Модель наностержня из 4-х атомов углерода

Инженерное моделирование. Компания NanoTitan разработала иерархический язык описания наноструктур nanoML (на основе языка XML). С его помощью можно описать наносистемы на молекулярном уровне, а также определить его основные электрические, оптические, физические свойства, информацию о применении и др. Для облегчения работы с языком nanoML создана программа NanoXplorer, позволяющая создавать модели наноустройств по примеру программы AutoCAD. С помощью программы NanoXplorer можно использовать уже созданные модели подшипников, валов, двигателей, манипуляторов и пр. (рис.2).

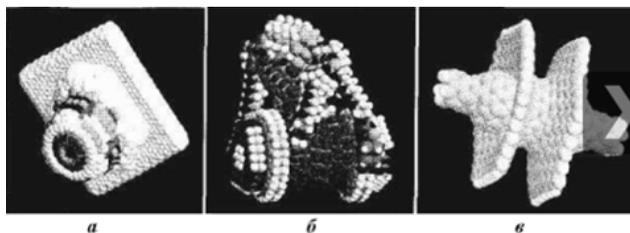


Рисунок 2 – Модели наносистем:  
а) нанонасос для атомов Ne  
б) наноманипулятор; в) наноподшипник из углерода

Синтез наноструктур в уплотнительных материалах обеспечит герметизирующие свойства.

Технические воздействия по нарушению герметичности, а также трудоемкость их выполнения значительно снизится, а в ряде случаев может быть устранен данный вид неисправности полностью.

#### Список литературы:

1. *Зорин, В. А.* Основы работоспособности технических систем / В.А. Зорин. - М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. - 536 с.
2. *Кинлок Э.* Адгезия и адгезивы: Наука и технология: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. - 484 с.
3. *Ковшов, А. Н.* Основы нанотехнологии в технике: Учеб. пособие / А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров, И.М. Ибрагимов. – М.: Изд-во МГОУ, 2006.
4. *Шейнин, А. М.* Эксплуатация дорожных машин / А.М. Шейнин, Б.И. Филиппов, В.А. Зорин. – М.: Транспорт.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛО-МАССООБМЕННЫХ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Украинский В.А., аспирант,  
Трубаев П.А., д-р техн. наук, профессор  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Одно из перспективных направлений изучения процессов аэрогидродинамики и теплообмена – проведение вычислительного эксперимента (или имитационное моделирование). Для этого разрабатывается компьютерная модель процесса или установки, которая затем исследуется, то есть рассчитываются выходные параметры модели при различных исходных данных, и полученные результаты анализируются. Вычислительный эксперимент требует, как правило, значительно меньших затрат, чем натурное моделирование (при наличии готовой программы для расчета), и в отличие от исследований промышленных объектов позволяет получать данные в широком диапазоне варьирования исходных данных и позволяет получать значительно более подробную информацию, чем измерения на реальном объекте.

Компьютерное моделирование является частью математического моделирования, в котором модель представлена в виде компьютерной программы, разработанной на алгоритмическом языке [1], или описана в специализированных пакетах численной математики или вычислительной гидрогазодинамики и теплообмена.

Компьютерные модели можно разделить на два больших класса – модели с сосредоточенными и распределенными параметрами. Для моделирования моделей с сосредоточенными параметрами применяются системы алгебраических уравнений, включающие уравнения сохранения массы и энергии (материального и теплового баланса), теплопередачи, гидродинамического сопротивления, кинетики химических реакций и т. п. Количество уравнений при этом зависит от количества неизвестных параметров, которые необходимо определить.

В моделях с распределенными параметрами процессы описываются дифференциальными уравнениями в частных производных или интегро-дифференциальными уравнениями в 2-х или 3-х мерных системах координат, включающими уравнения движения (Навье-Стокса),

конвективного и диффузионного переноса вещества и теплоты, радиационного теплообмена, кинетики химических реакций и др.

Аналитические решения в замкнутой форме, выраженные в виде многочленов, рядов Фурье, тригонометрических и других функций, для таких систем могут быть найдены только для самых простых задач или при радикальном упрощении модели, что объясняется нелинейностью и взаимосвязью уравнений, многокомпонентностью задачи, сильной температурной зависимостью свойств, коэффициентов и параметров, разнообразием геометрии и граничных условий. Поэтому решения в замкнутой форме для моделей с распределенными параметрами могут быть найдены, как правило, только численными методами, так как в уравнения входит ряд параметров, коэффициентов и свойств, нелинейно зависящих от неизвестных параметров модели – температур, концентраций и т.п. При численном решении дифференциальные уравнения дискретизируются – непрерывная величина, задаваемая дифференциальной функцией, заменяется дискретными значениями сеточной функции в определенных точках – узлах пространственной сетки. Пространственная сетка получается путем разбиения каждой координаты на конечное число точек. Решая систему, полученную записью дискретных уравнений для всех узлов сетки, получают значения неизвестных параметров (температуры, давления, концентраций и т.д.) в каждой контрольной точке.

Геометрия промышленных печей требует применения адаптивных сеток и независимости свойств расчетного метода от выбранной системы координат. Для получения адекватных результатов необходимо применять сетки с большим числом шагов, а в областях с резким изменением параметров (например, в пристеночной области или выходе струи газа из сопла или горелки) дополнительно уменьшать шаг сетки. Из-за этого получаемые системы уравнений имеют большую размерность, даже при принятии значительных упрощений и допущений, и их решение требует больших временных и вычислительных затрат. Другим последствием больших размерностей является проблемы со сходимостью расчета, то есть с получением результата за конечное число итераций. Таким образом разработка численной модели процессов в промышленных печах – сложная задача, требующая высокой квалификации специалистов и больших трудовых затрат при ее индивидуальном создании.

В конце прошлого века начались разработки пакетов прикладных программ моделирования гидрогазодинамики и тепломассообмена (САЕ-технологии). В них реализованы универсальные решения задач

вычислительной гидродинамики (CFD – Computational Fluid Dynamics) и теплообмена. При работе с пакетом пользователь создает геометрическую расчетную область, генерирует расчетную сетку, задает граничные условия и параметры веществ, то есть осуществляет постановку задачи, а система осуществляет расчет и представляет полученные результаты. Первоначально CAE-системы из-за больших вычислительных требований функционировали только на специальных мощных компьютерах (кластерах). Но развитие вычислительной техники позволило осуществлять расчеты с приемлемыми временными затратами и на современных персональных компьютерах [2].

В настоящее время для пользователей доступны ряд CAE-систем. Охарактеризуем наиболее распространенных из них.

ANSYS CFX – программный комплекс для решения задач аэро- и гидродинамики, акустики, теоретической механики, теплофизики, конвективного и радиационного теплообмена, основанный на методе конечных элементов. Включает широкий выбор моделей турбулентности. Является признанным лидером при расчетах турбомашин и моделировании в химической промышленности.

ANSYS FLUENT – программный комплекс для решения задач механики жидкостей и газов, в который включены ламинарные и турбулентные модели гидродинамики, теплопередачи, фазовых переходов и радиации, модели для расчета кавитации, сжимаемых жидкостей, теплообмена, теплопроводности, реальных газов, и модуль для расчета влажного пара, предсказания выхода NOx. Использует неструктурированную сеточную технологию, где типы элементов – гексаэдры, тетраэдры, призмы и пирамиды. Включает несколько моделей турбулентности. Является признанным лидером при расчете химических реакций и задач горения.

STAR-CD – многоцелевой программный комплекс, предназначенный для проведения расчетов в области механики жидкости и газа, тепло- и массопереноса, процессов горения и решения других задач. В нем впервые реализована технология «скользящих сеток». Лидер моделирования в автомобильной промышленности.

FlowVision – система моделирование стационарных и нестационарных слабосжимаемых и несжимаемых потоков в технических приложениях. FlowVision основан на конечно-объемном методе и использует прямоугольную адаптивную сетку с локальным измельчением, что позволяет моделировать сложные течения с сильной закруткой и с горением. Для получения адаптивной сетки используется

технология подсеточного разрешения. Система является отечественной разработкой и включает полную русскоязычную документацию.

FLOW-3D – пакет общего назначения для моделирования задач течения жидкости и газа. Лидер в моделировании течений со свободной поверхностью, использует метод конечных объёмов.

GDT (GasDynamicsTool) – это программный продукт, специализирующийся на задачах баллистики, горения и детонации. Позволяет устанавливать динамические сценарии, состоящие из неограниченного числа шагов с разными начальными и граничными условиями. Также является отечественной разработкой.

Сравнение этих пакетов произвести не представляется возможным, так как:

1) освоение пакетов требует большой квалификации и точность получаемых решений зависит не столько от системы, сколько от опыта пользователя;

2) все пакеты характеризуются крайне высокой стоимостью и поэтому потребитель выбирает один из них и не имеет возможности сравнить решение одной и той же задачи в разных системах. Таким образом преимущества и недостатки определяются не свойствами систем, а классификацией эксплуатирующих их инженеров-исследователей.

Недостатками пакетов численного моделирования газодинамических и тепло-массообменных процессов являются:

1) большая погрешность при расчете пограничных слоев; 2) недостаточная точность моделей турбулентности, которая традиционно в вычислительной гидродинамике основывается на эмпирических зависимостях; 3) неточность расчета радиационного теплообмена; 4) необходимость большого опыта для грамотной эксплуатации пакетов.

Таким образом применение CAE и CFD пакетов является перспективным направлением в исследовании сложных теплотехнологических процессов, представляющих ряд преимуществ по сравнению с традиционным компьютерным моделированием.

#### **Список литературы:**

1. Харин, Ю. С. Основы имитационного и статистического моделирования: Учебное пособие / Ю.С. Харин, В.И. Малогин, В.П. Кирлица и др. – Мн.: Дизайн ППО, 1997. – 288 с.
2. Пакет прикладных программ FLUENT для решения задач механики жидкости и газа, тепло- и массопереноса / Старченко А.В., Беликов Д.А., Гольдин В.Д., Нутерман Р.Б. – Томск: ТГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://mylearn.ru/kurs/30/>.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ СЛОЙ КЛИНКЕРНЫХ ГРАНУЛ**

**Украинский В.А., аспирант,  
Трубаев П.А., д-р техн. наук, профессор,  
Гришко Б.М., ст. преподаватель**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Одним из основных факторов, влияющих на эффективность процессов горения и теплообмена в печи, является температура воздуха, подаваемого на горение. В клинкерных холодильниках с колосниковой переталкивающей решеткой материал на выходе из печи нагревает воздух, который подается на горение в печь. Таким образом, клинкерный холодильник является неотъемлемой частью линии производства цемента, работу которого необходимо оптимизировать. На сегодняшний день существует возможность моделировать сложные системы, такие как линия производства цемента с помощью программных комплексов математического моделирования. Однако, для получения адекватной модели необходимо знать коэффициент теплопередачи от слоя гранул воздуху и аэродинамические характеристики слоя [1].

Для исследования процессов теплообмена в засыпке из клинкерных гранул при принудительной фильтрации воздуха создана экспериментальная установка [2], которая позволяет проводить исследование теплообмена между гранулированным материалом и воздухом при высоких температурах и характеризуется низкими потерями теплоты через стенки установки и потерями воздуха через зазор между асбестовой трубой и кожухом с термоизоляцией.

Эксперименты проводились на монодисперсных засыпках гранул цементного клинкера. Гранулы имели сферическую форму. Использовались гранулы диаметром 13, 16, 17, 18, 19, 22 мм. Пористость слоя в каждом случае регулировалась начальной высотой слоя (при выключенном вентиляторе). Экспериментальные данные получены в двух независимых сериях опытов с промежутком в один год.

На рис. 1 отображены точки соответствующие значениям критериям  $Re$  и  $Nu$ , рассчитанным по методике через малые промежутки времени. Множества точек описывают меняющиеся в

процессе охлаждения значения критерия Re и соответствующие им значения критерия Nu.

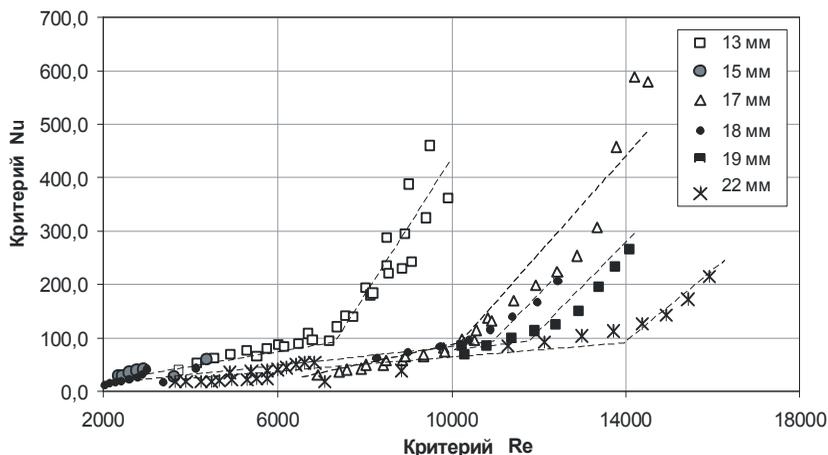


Рис. 1. Зависимость коэффициента Нуссельта от критерия Рейнольдса для процесса теплообмена в слое гранул

Для исследуемого диапазона диаметров гранул были получены уравнения, связывающие критерии подобия Re и Nu.

$$Nu = 4,36 \cdot 10^{-5} Re \cdot d^{-1,3}, \quad Re \cdot d < 6 \cdot 10^5$$

$$Nu = 5,8 \cdot 10^{-4} Re \cdot d^{-1,24} - 830, \quad Re \cdot d > 6 \cdot 10^5$$

Оно характеризует интенсивность процесса теплообмена между материалом и воздухом в зависимости от диаметра гранул (геометрической характеристики слоя) и критерия Re, характеризующего условия обтекания гранул воздухом. Критерий Pr из расчета был исключен, так как он изменялся мало и не оказывал влияния на характер зависимости.

В полученных данных имеется точка, в которой зависимость меняет свой характер. Для выявления причин этого изменения клинкерные гранулы продувались потоком холодного воздуха в стеклянном цилиндре. При достижении критериев Re, соответствующих точки излома было замечено, что слой из неподвижного состояния стал переходить в псевдооживенное. Для выявления влияния степени оживления слоя на теплообмен в нем были проведены серии опытов с большими диаметрами гранул и уменьшенной высотой слоя.

В результате были выявлены три зоны (рис. 2), зависимости для каждой из которых получены из результатов нескольких опытов. Первая зона ( $Re < 4000$ ) соответствовала неподвижной засыпке. В этом диапазоне теплообмен был самый неэффективный. Значение  $Re = 4000$  соответствовало критической скорости псевдооживления. Во второй зоне ( $Re = 4000 \dots 8000$ ) теплообмен был наиболее интенсивный. Третьей зоне ( $Re > 8000$ ) соответствовало бурное кипение и ухудшение процесса теплообмена.

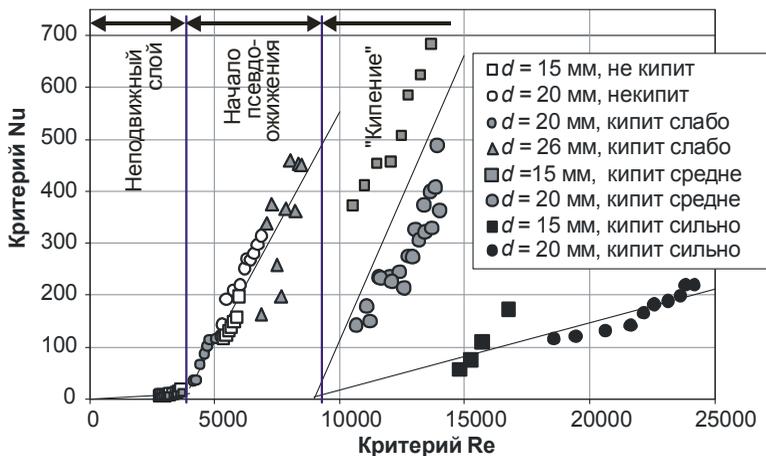


Рис. 2. Влияние гидравлического состояния на теплообмен

Таким образом для интенсификации теплообмена можно рекомендовать режим работы холодильника при значениях  $Re = 4000 \dots 8000$ .

#### Список литературы:

1. *Аэров, М. Э.* Аппараты со стационарным зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы работы / М.Э. Аэров, О.М. Годес, Д.А. Наринский. – Л.: Химия, 1979. – 176 с.
2. *Украинский, В. А.* Экспериментальная установка для исследования охлаждения клинкерных гранул в колосниковом холодильнике / В.А. Украинский, Б.М. Гришко, П.А. Трубаев // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: Сб. докл. Междун. научн.-техн. конф. – Белгород, Изд-во БГТУ, 2010. – Ч. 2. – С. 284-286.

## СЕЛЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ВРЕМЕННОЙ КОЛЬМАТАЦИИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ ПЛАСТА

Федоренко В.Ю.<sup>а</sup>, канд. хим. наук, зав. лаб.,  
Нигъматуллин М.М.<sup>а</sup>, канд. техн. наук, ген. директор,  
Боровиков Г.Г.<sup>а</sup>, инженер

Крупин С.В.<sup>б</sup>, д-р техн. наук, профессор  
<sup>а</sup> - ООО «НПЦ «Интехпромсервис»,

<sup>б</sup> - Казанский национальный исследовательский  
технологический университет

Материалы для перераспределения фильтрационных потоков широко применяются в нефтяной отрасли для выравнивания профиля приемистости нагнетательных и поинтервальных обработок нефтяных скважин. Целью настоящего исследования являлась разработка состава, способного выступать в качестве эффективного реагента, блокирующего промытые зоны при кислотных обработках и обладающего селективностью по отношению к водо- и нефтенасыщенным пропласткам.

На основе поверхностно-активных веществ разработан селективный кольматирующий состав – ВСК (временная селективная кольматация). ВСК растворим в пресной воде и спиртах. При смешении с высоко минерализованной водой или кислотой происходит образование органического осадка, препятствующего движению жидкости в пористой среде. В тоже время осадок растворяется в нефти и углеводородных растворителях.

Тестирование ВСК на насыпной модели пласта. Испытания проводились на линейной насыпной модели пласта при комнатной температуре и постоянном стабилизированном давлении. Модель пласта представляла собой металлическую колонку длиной 50 см и диаметром 3 см, плотно набитую молотым и подготовленным кварцевым песком. Проницаемость модели определялась степенью помола песка и составляла 1,5 мкм<sup>2</sup>. Насыщающим и вытесняющим агентами служили имитат пластовой воды и дегазированная нефть, разбавленная керосином до вязкости 4 мПа<sup>с</sup>.

Тестирование на водонасыщенной модели. Пористую среду насыщали имитатом, который прокачивали через модель в количестве двух поровых объемов. В конце насыщения замерялась подвижность жидкости ( $\lambda$ ), которая рассчитывалась исходя из формулы Дарси:

$$\lambda = \frac{K}{\mu} = \frac{Q \cdot l}{F \cdot \Delta P}, \text{ где}$$

$K$  – коэффициент проницаемости пористой среды, мкм<sup>2</sup>,

$\mu$  – вязкость жидкости, мПа<sup>с</sup>,

$Q$  – расход жидкости, см<sup>3</sup>/сек,

$l$  – длина модели, см,

$F$  – сечение модели, см<sup>2</sup>,

$\Delta P$  – разность давлений на входе и выходе модели, атм.

Затем в модель закачивался реагент в количестве 30% от порового объема, и модель перекрывалась на 20 часов. После этого с выхода модели осуществлялся доотмыв пористой среды имитатом в количестве двух поровых объемов. В конце доотмыва замерялась подвижность жидкости, и рассчитывался остаточный фактор сопротивления ( $R$ ), который являлся основной характеристикой, определяющей степень влияния реагента на фильтрационные характеристики пористой среды:

$$R = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} \times 100\% , \text{ где}$$

$\lambda_1$  – подвижность жидкости до закачки реагента,

$\lambda_2$  – подвижность жидкости после закачки реагента.

При проведении экспериментов оценивалась подвижность в конце закачки реагента, которая в случае водонасыщенной модели составила 0,0035 мкм<sup>2</sup>/мПа<sup>с</sup>, чему соответствует остаточный фактор сопротивления 98%. После выдержки модели эти показатели были равны 0,0139 мкм<sup>2</sup>/мПа<sup>с</sup> и 85%, соответственно.

Тестирование на нефтеводонасыщенной модели. После насыщения имитатом пластовой воды через модель прокачивали нефть в количестве двух поровых объемов. Затем нефть вытесняли имитатом до 100%-ной обводненности на выходе модели. Объемно-весовым методом рассчитывалась остаточная нефтенасыщенность пористой среды, которая составила 20%. Определялась также подвижность жидкости в конце закачки реагента, которая составила 0,0006 мкм<sup>2</sup>/мПа<sup>с</sup>, что соответствует остаточному фактору сопротивления  $R=97\%$ . Модель закрывалась на 20 часов, после чего проводили доотмыв имитатом с выхода модели и измеряли остаточный фактор сопротивления ( $R$ ). Скорость фильтрации через модель возросла, значение подвижности жидкости достигло уровня перед закачкой реагента, что соответствует нулевой величине остаточного фактора сопротивления. В условиях проведенных экспериментов начальные параметры, проницаемость и подвижность жидкости насыщения, одинаковы.

Испытания на насыпных моделях показали высокую блокирующую способность на стадии закачки и разрушение осадка после выдерживания в нефтенасыщенной модели во времени. ВСК может быть использован для временной кольматации промытых зон на объектах с высокой минерализацией пластовых вод в ходе кислотных обработок. Селективное поведение и установленные кольматирующие свойства позволяют ожидать низкий рост обводненности в ходе кислотных обработок призабойной зоны пласта.

## **ВЛИЯНИЕ ПОРИСТЫХ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕЕ**

**Фёдоров М.Ю., аспирант,  
Кузнецов Д.А., канд. техн. наук, доцент**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Как известно, минеральные тонкодисперсные порошки играют важную роль в структурообразовании композиционных строительных материалов. Обладая развитой удельной поверхностью, они выступают в качестве активных наполнителей [1]. Например, в асфальтобетоне, суммарная удельная поверхность частиц минерального порошка может составлять до 90-95% поверхности всей минеральной части. При смешивании минерального наполнителя с органическим вяжущим образуется важная структурная единица асфальтобетона – асфальтовяжущее вещество. По мнению многих исследователей характеристики асфальтобетона во многом определяются качеством асфальтовяжущего вещества. В свою очередь, свойства системы «битум – минеральный порошок» зависят от свойств вяжущего, химико-минералогического состава и дисперсности минерального наполнителя, а также соотношения этих компонентов [2, 3].

Взаимодействие битума с минеральным порошком обусловлено не только весьма развитой удельной поверхностью наполнителя, но и очень развитой внутренней поверхностью зёрен, образуемой разветвлённой системой микропор. Пористые тонкодисперсные наполнители оказывают более сильное структурирующее воздействие, чем плотные [4]. Микропоры отличаются весьма высоким адсорбционным потенциалом, благодаря чему в них сорбируется значительная часть поверхностно-активных компонентов битума. Таким образом, можно предположить, что пористые минеральные наполнители будут оказывать более выраженное структурирующее воздействие на битум, чем традиционные материалы. Очевидно, этим обусловлен интерес к пористым наполнителям и заполнителям в составе асфальтобетонов в последнее время [5]. В качестве объектов исследования в работе были рассмотрены минеральные порошки из перлита (производство г. Старый Оскол) и шунгита (Карельское месторождение), отличающиеся от традиционного сырья пористой поверхностью и высокоразвитой системой микропор, а также битум марки БНД 60/90 производства Рязанского НПЗ. Изучаемое дисперсное

сырьё было целесообразно проверить на соответствие требованиям [6], предъявляемым к минеральным порошкам для асфальтобетонных смесей. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели свойств исследуемых наполнителей

Наименование показателя	Минеральный порошок МП-2		Требования ГОСТ
	шунгит	перлит	
Зерновой состав, % по массе:			
мельче 1,25 мм	100	100	не менее 95
< 0,315 мм	98	96	от 80 до 95
< 0,071 мм	80	80	не менее 60
Пористость, %	37	39	не более 40
Показатель битумоёмкости, г	48	78	не более 80
Влажность, % по массе	0,55	0,48	не более 2,5

Как видно, оба наполнителя соответствуют предъявляемым стандартам требованиям. Однако пористость данных материалов в среднем на 20-25% выше пористости известнякового наполнителя, а величина удельной поверхности при одинаковом гранулометрическом составе больше на 60-70%, что позволяет сделать вывод о более развитой системе микропор исследуемого сырья.

На наш взгляд, наиболее информативным методом изучения системы «битум – минеральный порошок» является исследование асфальтовяжущего вещества, характеризующегося большей однородностью структуры и стабильностью свойств. Асфальтовяжущее изготовлялось по стандартной методике [6], с предварительным подбором оптимального количества битума для каждого наполнителя. Так, для минерального порошка из перлита данный показатель составил 27%, а для наполнителя из шунгита – 16,2%, что на 55,6 и 26% соответственно больше, чем у традиционного известнякового минерального порошка. Эти данные коррелируют с показателем битумоёмкости порошков. Результаты испытаний физико-механических показателей асфальтовяжущего с подобранным оптимальным количеством битума приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства асфальтовяжущего

Наименование показателя	Минеральный порошок МП-2		Требования ГОСТ
	шунгит	перлит	
Прочность при сжатии, МПа: при 20°С при 20°С в насыщенном водой состоянии при 50°С	4,3 3,9 2,7	4,9 4,1 3,1	–
Водостойкость образцов из смеси порошка с битумом, %	0,9	0,84	не менее 0,7
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %	1,87	1,67	не более 3,0
Коэффициент теплостойкости	0,63	0,63	–

Воздействие исследуемых материалов на свойства конечной системы различно. Прочность образцов асфальтовяжущего на перлите при 50°С, несмотря на более высокое содержание битума, оказалась на 12,9% выше соответствующей прочности асфальтовяжущего на шунгите. Коэффициент теплостойкости композитов на исследуемом сырье оказался на 14,3% выше, чем при использовании традиционного минерального порошка из известняка.

Так как исследуемое сырьё является пористым, вода, при неполном покрытии поверхности порошка вяжущим или слабых адгезионных связях на границе раздела «битум – минеральный порошок», может проникать вглубь зёрен шунгита и перлита и разрушать асфальтовяжущее вещество. Поэтому оценка водостойкости композита является важным аспектом исследования. Как видно, потеря прочности образцов из шунгита и перлита составила 9,3 и 16,3% соответственно. Тем не менее, показатели водостойкости композитов удовлетворяют требованиям нормативной документации, равно как и величина набухания, а также, что немаловажно, не уступают аналогичным показателям образцов, приготовленных из известняка.

Так же, можно предположить, что развитая пористая поверхность, способствующая адсорбции компонентов битума, а также более интенсивное его структурирование при использовании пористых тонкодисперсных наполнителей, позволит уменьшить негативное влияние процессов старения вяжущего на эксплуатационные характеристики асфальтобетонных покрытий, а также снизить температурные пластические деформации, проявляющиеся в

образовании волн и колебаний в жаркое время года. Очевидно, что исследуемые наполнители обладают определенным потенциалом, а возможность их использования в составе асфальто вяжущего вещества и асфальтобетонных смесей требует более детальных исследований.

#### Список литературы:

1. Руденский, А. В. Дорожные асфальтобетонные покрытия / А.В. Руденский. – М.: Транспорт, 1992. – 254 с.
2. Урьев, Н. Б. Физико-химическая механика в технологии дисперсных систем / Н.Б. Урьев. – М.: Знание, 1975. – 64 с.
3. Печеный, Б. Г. Долговечность битумных и битумо минеральных покрытий / Б.Г. Печеный. – М.: Стройиздат, 1981. – С. 158-168.
4. Горельшева, Л. А. Теоретические аспекты взаимодействия различных порошкообразных материалов с органическим вяжущим / Л.А. Горельшева // Пути экономии материальных и энергетических ресурсов при ремонте и реконструкции автомобильных дорог / НПО Росдорнии. – М.: МАДИ, 1989. – Вып.1. – С. 29-35.
5. Кортаев, А. П. Повышение качества асфальтобетона за счет использования пористого минерального порошка: Дисс. ... канд. техн. наук / А.П. Кортаев. – Белгород, 2009. – 161 с.
6. ГОСТ Р 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия. – Введ. 2003–10–01. – М.: Госстрой России, 2004. – 33 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ОТРЯДА МАШИН ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

**Черкасов В.Г., магистрант,  
Котлярский Э.В., канд. техн. наук, профессор**  
*Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет*

Известно, что формирование структуры и свойств дорожного асфальтобетона в основном происходит на этапе его уплотнения, где сам процесс обуславливается свойствами исходных компонентов, составом смесей, технологическими и конструктивными особенностями уплотняющих машин, погодными-климатическими факторами при уплотнении асфальтобетонных смесей различными отрядами дорожных катков.

На полигоне Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета ранее были проведены полномасштабные испытания дорожных катков различного типа, направленные на изучение факторов оказывающих наиболее существенное влияние технологических приемов на физико-механические свойства асфальтобетонных смесей при укладке и уплотнении [1]. Испытания проводились с использованием различных типов катков по методикам, разработанным на кафедре дорожно-строительных материалов МАДИ. Из различных типов и видов асфальтобетонных смесей было построено 40 опытных секций, имеющих различную толщину уплотненного слоя, при различном числе проходов катков по одному следу с различными рабочими скоростями уплотнения.

Оценка процессов структурообразования асфальтобетона в процессе уплотнения производилась по изменению показателей свойств уплотняемого и уплотненного асфальтобетона:

- средней и относительной плотности асфальтобетона в процессе уплотняющих технологических воздействий уплотняющего оборудования;
- коэффициента уплотнения асфальтобетона;
- водонасыщения асфальтобетона;
- устойчивости по Маршаллу;
- условной жесткости по Маршаллу.

В процессе производственного эксперимента варьировалось влияние технологических параметров процесса уплотнения:

- линейного давления катка;
- количества проходов катка по одному следу;
- рабочей скорости;
- толщины уплотняемого слоя;
- состава асфальтобетонной смеси.

Все полученные результаты статистически обрабатывались на ЭВМ с использованием многофакторного регрессионного и корреляционного анализа. Это позволило получить многофакторные математические модели (1), позволяющие с достаточной надежностью достоверно описать характер влияния состава асфальтобетонной смеси и технологических параметров процесса уплотнения для каждого используемого типа дорожных катков на результаты уплотнения конструктивных асфальтобетонных слоев.

Полученные математические модели имеют общий вид:

$$Y_j = e^{b_0} \cdot e^{b_1 \cdot x_1} \cdot x_1^{b_{i+1}} \quad (1)$$

где:  $Y_j$  – показатель структурно-механических или строительно-технических свойств уплотненного асфальтобетона;  $X_i$  – факторы, характеризующие состав смеси и технологические параметры процесса уплотнения;  $b_0, b_1, \dots, b_i$  - коэффициенты регрессии математической модели.

Полученные регрессионные многофакторные модели позволяет с определенной надежностью прогнозировать структурные изменения в уплотняемой асфальтобетонной смеси в процессе уплотнения. Это что открывает возможность прогнозирования требуемых свойств асфальтобетона и осуществлять более надежный операционный контроль качества дорожных работ.

Большой практический интерес представляет назначение технологии уплотнения асфальтобетонных слоев с целью получения асфальтобетона с требуемыми или проектными свойствами. Для получения материала с заданными физико-механическими свойствами необходимо обосновать оптимальный состав отряда уплотняющих машин, технологический режим их работы и учесть другие параметры, необходимые для эффективного уплотнения смеси. В силу многообразия составов смеси, качественных характеристик исходных компонентов, многочисленных факторов, сопутствующих работе машин

и механизмов, разнообразия конструкций дорожной одежды, неоднородности асфальтобетонных смесей и случайности погодноклиматических условий производства работ появляется большое количество вариантов, позволяющих получить результаты достаточно близкие к оптимальным.

Методика проектирования технологии уплотнения, выбора ведущей машины и оптимального состава отряда катков может быть автоматизирована с использованием полученных алгоритмов.

Последовательность проектирования состоит из 5 этапов.

На первом этапе формируется блок исходных данных, предполагающий использование всей необходимой информации из проекта строящейся или реконструируемой автомобильной дороги. Это:

- назначение автомобильной дороги;
- категория;
- район строительства;
- конструкция дорожной одежды и толщины асфальтобетонных конструктивных слоев;
  - тип, вид и марка асфальтобетона;
  - геометрические характеристики дороги (участка, захватки, микрзахватки) – ширина полосы укладки, ширина полосы уплотнения, ширина перекрытия смежных проходов катка и т.д.;
  - имеющиеся в наличии средства уплотнения, тип технические характеристики катков для предварительного, основного и окончательного уплотнения;
  - время года, месяц и погодноклиматические условия в период проведения дорожно-строительных работ;

На рисунке 1 представлена блок-схема первого этапа.

Запроектированный состав (или составы) смеси должны обладать требуемыми физико-механическими и структурными свойствами.



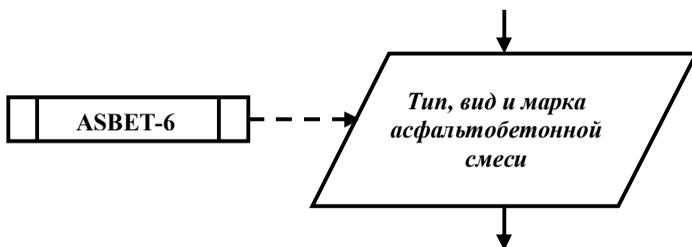


Рис. 2. Уточнение состава асфальтобетонной смеси и его корректировка (Этап 2)

На третьем этапе (Рисунок 3) автоматизированная система проектирования технологии уплотнения асфальтобетонных смесей из базы данных укладочной и уплотняющей техники (постоянно пополняемой и корректируемой) со всей необходимой информацией, учитывающей вид и технологические возможности машин и механизмов, в полуавтоматическом режиме оценивает возможность комплектования специализированного отряда машин (асфальтоукладчиков и катков) по их функциональным параметрам. К этим возможностям помимо конструктивных и функциональных характеристик относятся производительность, требуемый темп потока и др., определенные проектом производства работ.

Для третьего блока подпрограммы, используется алгоритм, позволяющий рассмотреть различные варианты расстановки технологического оборудования специализированного потока на захватке (в том числе для звена катков на микрозахватке). Рассчитанные на ЭВМ варианты оптимизируются в автоматическом режиме по требуемым критериям (технологическим, экономическим и проч.).

Предлагаемые алгоритмы могут использовать как непосредственно полученные многофакторные регрессионные модели (1), так и производить необходимые расчеты по методу функциональных коэффициентов [3].

Далее расчетом назначается требуемое количество проходов катков (на предварительном, основном и окончательном уплотнении) в каждой точке по всей ширине укладки.

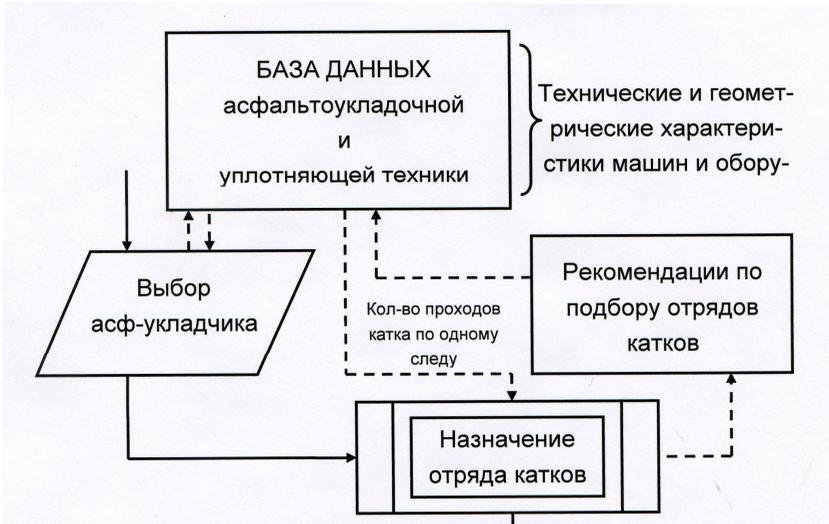


Рис. 3. Комплектование специализированного отряда дорожных машин и технологический регламент их работы (Этап 3)

Используя расчетные 14-ти факторные зависимости ЭВМ, или непосредственно специалист расчетом, по номограммам, построенным по тем же зависимостям с использованием метода функциональных коэффициентов, оценивает влияние на плотность и на устойчивость по Маршаллу факторов, влияющих на результаты уплотнения слоя. При этом на каждом этапе уплотнения при предварительном, основном и окончательном уплотнении определяются по всей ширине уплотняемой полосы значения показателей свойств асфальтобетона (коэффициент уплотнения и показатель устойчивости по Маршаллу).

$$k_y = A \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \quad (2)$$

$$P_m = A_1 \cdot p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot p_5 \cdot p_6 \cdot p_7$$

где:  $A$  и  $A_1 (A = e^{b_0})$  - постоянные,  $k_1 - k_7$  ( $k_i = e^{b_i X_i} \cdot X_i^{b_i+1}$ ) - функциональные коэффициенты влияния параметров на коэффициент уплотнения и  $p_1 - p_7$  ( $p_i = e^{b_i X_i} \cdot X_i^{b_i+1}$ ) - функциональные коэффициенты влияния параметров на устойчивость по Маршаллу;

$k(p)_1$  - функциональный коэффициент влияния на  $k_y(P_M)$  линейного давления катка;

$k(p)_2$  - функциональный коэффициент влияния на  $k_y(P_M)$  числа проходов катка;

$k(p)_3$  - функциональный коэффициент влияния на  $k_y(P_M)$  рабочей скорости катка;

$k(p)_4$  - функциональный коэффициент влияния на  $k_y(P_M)$  толщины уплотняемого слоя;

$k(p)_5$  - функциональный коэффициент влияния на  $k_y(P_M)$  соотношения Б/МП;

$k(p)_6$  - функциональный коэффициент влияния на  $k_y(P_M)$  соотношения АВВ/П;

$k(p)_7$  - функциональный коэффициент влияния на  $k_y(P_M)$  соотношения АР/Щ.

По полученным значениям устойчивости по Маршаллу по корреляционным зависимостям определяются стандартные показатели пределов прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ) при температурах 0, 20, 50 °С. Так как для расчета механических характеристик приняты значения по пессимистической регрессионной модели при прогнозе значений это дает определенный коэффициент запаса.

Одновременно по рабочей скорости уплотнения и длине микрозахватки определяется время работы катка и температура смеси после завершения каждого этапа уплотнения, которая должна находиться в рекомендуемом интервале эффективного уплотнения для заданного типа, вида и марки асфальтобетонной смеси.

Критерием оптимизации являются время, требуемое на реализацию всех технологических операций по укладке и уплотнению асфальтобетонной смеси, ее температуры с учетом ее остывания, и в итоге - получаемые свойства асфальтобетонной смеси.

Четвертый этап (Рисунок 4) проектирования связан с температурным режимом уплотнения асфальтобетонных смесей. Температура остывания смеси рассчитывается по регрессионному выражению (3), которое получено после обработки многочисленных измерений, в том числе, при строительстве опытных секций на полигоне МАДИ, при опытных работах в г. Москве и др. регионах страны и за рубежом. Были использованы также данные Н.В. Горельшева, О.Т. Батракова, Н.Я. Хархуты [4;5;6;7]. Производственная проверка на московских объектах показала, что выражение (3) может быть рекомендовано для проведения необходимых технологических расчетов и позволяет рассчитать среднюю температуру слоя асфальтобетонной смеси в любой текущий момент времени.

$$t_j = e^{-4,9692 \cdot t_i} \cdot e^{-0,0033 \cdot T_j} \cdot e^{0,0776 \cdot h} \cdot V^{-0,0542} \cdot t_{\text{возд}}^{0,0136} \quad (3)$$

где:  $h$  - средняя температура слоя асфальтобетонной смеси в текущий момент времени, °C;  $V$  - скорость ветра, м/с;  $t_{\text{возд}}$  - температура воздуха, °C;  $T_j$  - время, прошедшее с момента укладки (начала уплотнения), когда  $t_i > t_{\text{нормтах}}$ ,  $t_{\text{нормтах}}$  - температура эффективного уплотнения асфальтобетонной смеси данного типа и вида (верхний предел).

Полученная температура должна отвечать условию выполнения технологической операции при температуре эффективного уплотнения (4) по условию:

$$t_{\text{кон}}^{\circ} < t_{\text{опер}}^{\circ} < t_{\text{нач}}^{\circ} \quad (4)$$

Если условие не выполняется, программа возвращается к выбору другого типа катка для расчета другого технологически возможного варианта.

При выполнении условия (4), программа осуществляет подбор катка отряда для реализации следующего основного этапа уплотнения. Описанный цикл расчетов повторяется с учетом выражений или коэффициентов влияния для ведущего катка звена.

Аналогично производятся расчеты для катка, осуществляющего окончательное уплотнение асфальтобетонного слоя.

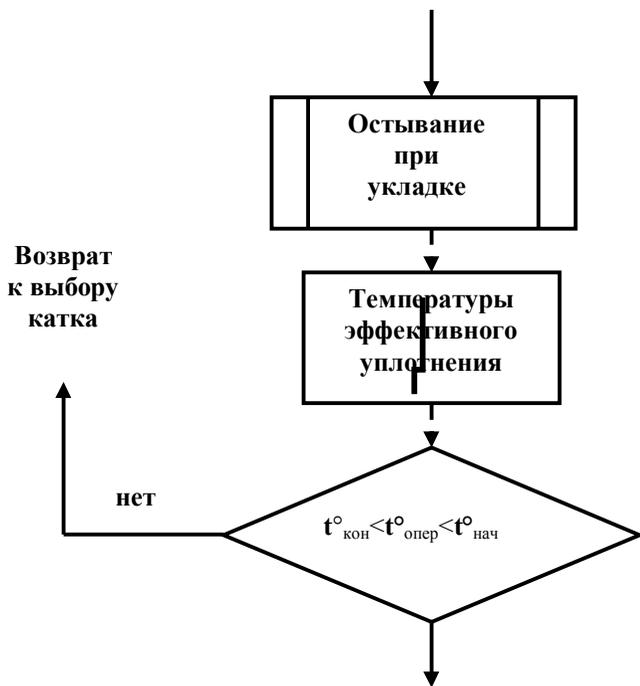


Рис. 4. Проверка на условие остывания при укладке (Этап 4)

После завершения всех расчетов, полученные коэффициенты уплотнения и устойчивости по Маршаллу, а так же величины предела прочности на сжатие при стандартных температурах сравнивают с требованиями ГОСТ 9128 или требованиями проектной документации и СТО. Блок схема представлена на рисунке 5.

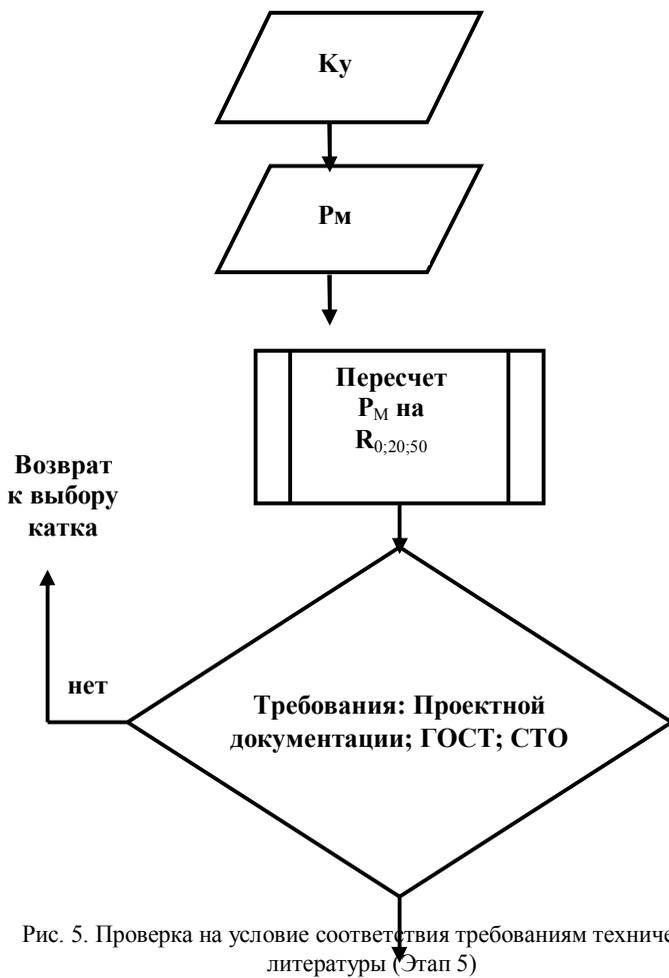


Рис. 5. Проверка на условие соответствия требованиям технической литературы (Этап 5)

Если условие соблюдается, данные специализированные отряды дорожных машин могут быть рекомендованы к использованию. На конкретном объекте. Окончательный выбор осуществляется на основе технико-экономического сравнения вариантов.

### Заключение:

1. Основная цель работы заключается в том, что исходя из назначения требуемых физико-механических свойств асфальтобетона уже в конструктивном слое дорожной одежды, в автоматическом режиме обоснованно назначать отряды катков необходимые для его эффективного уплотнения.

2. Предлагаемый расчетный алгоритм раскрыт не в полном объеме, позднее его отдельные блоки будут детализироваться, и рассматриваться более подробно.

### Список литературы:

1. *Горельшнев, Н. В.* Разработка рекомендаций по контролю качества уплотнения асфальтобетонных смесей и путей улучшения их качества / Н.В. Горельшнев, Э.В. Котлярский и др. // Научно-технический отчет. - М.: МАДИ, 1988.
2. *Кочнев, В. И.* Процесс проектирования состава асфальтобетонных смесей с заданными структурно-механическими свойствами с использованием автоматизированных систем / В.И. Кочнев, Э.В. Котлярский, А.Б. Николаев // Научно-технический журнал «Автомобильные дороги и мосты».
3. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. – М.: «Наука», 1973. - 899 с.
4. *Вошинин, Н. П.* Режим уплотнения асфальтобетонных слоев повышенной толщины / Н.П. Вошинин, Н.В. Горельшнев // Автомобильные дороги. – 1975. - № 12.
5. Батраков О.Т. Теоретические основы уплотнения грунтов земляного полотна и слоев дорожных одежд катками на пневматических колесах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени докт.техн.наук. - М.: МАДИ, 1979. - 30 с.
6. Быстров Н.В., Котлярский Э.В., Горельшнев Н.В. Рекомендации по эффективному уплотнению асфальтобетонных покрытий и оснований. - М.: МГПО Автодор, 1990. - 1,5 п.л.
7. Хархута Н.Я. Уплотняющие машины. - Л., 1965. - 180 с.
8. *Зубков, А. Ф.* Технология строительства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / А.Ф. Зубков, В.Г. Однолюк. – М.: Машиностроение, 2009. – 224 с.

## МЕТОДИКА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ СВЕТОФОРНОГО ОБЪЕКТА

**Шевцова А.Г., аспирант,  
Боровской А.Е., канд. техн. наук, доцент,  
Остапко А.С., канд. техн. наук, доцент**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

На сегодняшний день в России сложилась тяжелая ситуация на улично-дорожной сети, которая в первую очередь связана с ростом автомобилизации населения. Так, рост за последние 10 лет, в среднем, по России составил 57,4%, а в частности, по Белгородской области 56,8 [1]. Дорожная инфраструктура не справляется с таким ростом, особенно, это заметно на малых и средних городах, которые не имеют больших финансовых ресурсов для проведения значительных работ по реконструкции улично-дорожной сети. Однако даже при имеющихся ресурсах можно значительно улучшить ситуацию с задержками транспортных средств на пересечениях оборудованных светофорными объектами за счет внедрения рациональных планов управления. Ограничением в данном случае служат технические характеристики контроллеров обеспечивающих управление этими объектами. Зачастую они имеют ограничение по количеству поддерживаемых планов управления, что однако не является причиной отказа от их использования, поскольку правильный подбор программ управления на одной улице может дать значительное увеличение ее пропускной способности. Рассмотрим методику выбора планов управления на примере пересечения пр. Ватутина – ул. Костюкова г. Белгорода (рис.1).



Рисунок 1. Вид пересечения пр-та Ватутина – ул. Костюкова со спутника

Движение на данном пересечении осуществляется в 12 направлениях (рис.2).

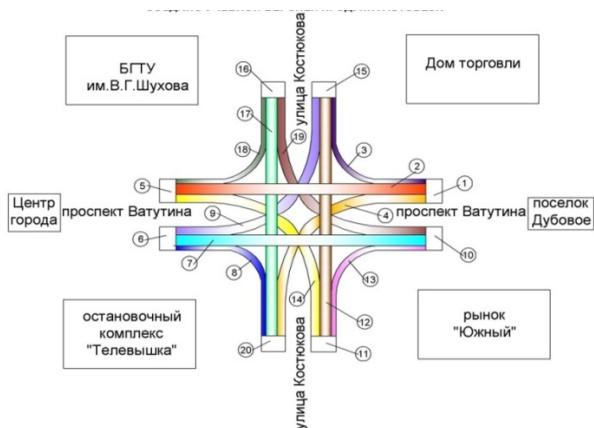


Рисунок 2. Обозначение направлений на пересечении пр – та Ватутина – ул. Костюкова

Описание направлений:

1 - общий входящий ТП на пр-т Ватутина по направлению в сторону центра;

2 - прямо идущий ТП по пр-ту Ватутина в сторону центра;

3 - правоповоротный ТП с пр-т Ватутина на ул. Костюкова, в сторону БГТ им.В.Г.Шухова;

4 - левоповоротный ТП с пр-та Ватутина в сторону рынка "Южный";

5 - общий входящий ТП с пр-та Ватутина в сторону центра;

6 - общий входящий ТП с центра на пр-т Ватутина;

7 - прямо идущий ТП по пр-ту Ватутина в сторону пос. Дубовое;

8 - правоповоротный ТП с пр-та Ватутина в сторону рынка "Южный";

9 - левоповоротный ТП с пр-т Ватутина на ул. Костюкова, в сторону БГТУ им.В.Г.Шухова;

10 - общий выходящий ТП с пр-та Ватутина по направлению к пос. Дубовое;

11 - общий входящий ТП с ул. Костюкова со стороны рынка "Южный";

12 - прямо идущий ТП по ул. Костюкова в сторону БГТУ им.В.Г.Шухова;

- 13 - правоповоротный ТП с ул. Костюкова в сторону пос. Дубовое;
- 14 - левоповоротный ТП с ул. Костюкова в сторону центра;
- 15 - общий выходящий ТП в сторону БГТУ им.В.Г.Шухова;
- 16 - общий входящий ТП со стороны БГТУ им.В.Г.Шухова;
- 17 - прямо идущий ТП со стороны БГТУ им.В.Г.Шухова;
- 18 - правоповоротный ТП с ул. Костюкова в сторону центра;
- 19 - левоповоротный ТП с ул. Костюкова в сторону пос. Дубовое;
- 20 - общий выходящий ТП с ул. Костюкова в сторону рынка "Южный".

Движение на пересечении проспекта Ватутина – ул. Костюкова осуществляется в две фазы (рис.3, рис.4).



Рисунок 3. Направления движения в 1-ой фазе регулирования на пересечении пр-та Ватутина – ул. Костюкова

*Описание движения:*

В 1-ой фазе осуществляется движение транспортных средств в 6-ти направлениях:

1. прямо по пр-ту Ватутина в сторону Бульвара 1-го салюта, движение осуществляется по 2 – м полосам шириной по 3,5 м. (1Н – первое направление);
2. прямо по пр-ту Ватутина в сторону центра с Бульвара 1-го салюта, движение осуществляется по 2 – м полосам шириной по 3,5 м. (2Н – второе направление);
3. направо с проспекта



Рисунок 4. Направления движения во 2-ой фазе регулирования на пересечении пр-та Ватутина – ул. Костюкова

*Описание движения:*

Во 2-ой фазе осуществляется движение транспортных средств в 6-ти направлениях:

1. прямо по ул. Костюкова в сторону рынка «Южный», движение осуществляется по 1-й полосе шириной 4,0 м. (4Н – четвертое направление);
2. прямо по ул. Костюкова в сторону БГТУ им.В.Г.Шухова, движение осуществляется по 1-й полосе шириной по 3,5 м. (3Н – третье направление);
3. направо с ул. Костюкова в

Ватутина в сторону улицы Костюкова движение осуществляется по 1 – ой полосе шириной 3,5 м (центр – пос. Дубовое) (1Н – первое направление);

4. налево с проспекта Ватутина в сторону улицы Костюкова движение осуществляется по 1 – ой полосе шириной 3,5 м (центр – пос. Дубовое) (1Н – первое направление);

5. направо с проспекта Ватутина в сторону улицы Костюкова движение осуществляется по 1 – ой полосе шириной 4,0 м (пос. Дубовое - центр) (2Н – второе направление);

6. направо с проспекта Ватутина в сторону улицы Костюкова движение осуществляется по 1 – ой полосе шириной 3,5 м (пос. Дубовое - центр) (2Н – второе направление).

Так же в данной фазе осуществляется пропуск пешеходов по ул. Костюкова (5Н,6Н – пятое и шестое направление).

Основным недостатком данного пересечения (рис.1), с точки зрения оснащенности ТСОД, является наличие на светофорных объектах контроллеров, которые могут поддерживать не более 8 программ работы светофорного объекта. Исходными данными для расчетов режимов работы светофорного объекта является: интенсивность движения по направлениям, геометрические характеристики пересечения. Если вторые остаются неизменными от реконструкции до реконструкции, то первые изменяются в больших пределах. Причем это происходит не только в зависимости от времени суток, сезона и климатических явлений, но и изменяются в зависимости от автомобилизации, что отмечалось выше. Таким образом, необходимо

сторону пр-та Ватутина движение осуществляется по 1 – ой полосе шириной 3,5 м. (4Н – четвертое направление);

4. налево с ул. Костюкова в сторону пр-та Ватутина движение осуществляется по 1 – ой полосе шириной 3,5 м (центр – пос. Дубовое) (3Н – третье направление);

5. направо с ул. Костюкова в сторону пр-та Ватутина движение осуществляется по 1 – ой полосе шириной 3,5 м. (3Н – третье направление);

6. налево с ул. Костюкова в сторону пр-та Ватутина движение осуществляется по 1 – ой полосе шириной 3,5 м. (4Н – четвертое направление);

Так же в данной фазе осуществляется пропуск пешеходов по пр-ту Ватутина (7Н,8Н – седьмое и восьмое направление).

исследовать значения интенсивности достаточно постоянно и накапливать соответствующую базу данных и вносить изменения в соответствующие планы управления. Так измеренные интенсивности движения транспортных средств на ранее приведенном перекрестке имеют очень существенные колебания, как в течении суток, так и в течении недели (рис. 5).



Рисунок 5. Общее распределение интенсивности ТП в часы пика и меж пика на пересечении пр-та Ватутина – ул. Костюкова

Исходя из вышеизложенного, наиболее рациональным является внедрение недельного плана управления, который имеет следующую структуру – «утренний час пик», «утренний межпик», «обеденный час пик» и т.д., т.е. 6 режимов на каждый день недели в итоге получаем 42 режима, в то время как технически ограничение составляет 8 режимов. Еще одним ограничением является большое количество натуральных исследований, которые можно проводить как при помощи специальных технических средств, так и при помощи визуального контроля. Как отмечалось в различных работах [2], достаточно исследовать два основных конфликтующих направления (1), т.е. значительно снизить трудоемкость данного исследования, получая результат аналогичный классическому расчету [3] по всем направлениям.

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{ц}}(\max) \quad (1)$$

где  $T_{ц}$  - длительность цикла определенная с учетом всех направлений движения в каждой из фаз регулирования, сек;  
 $T_{ц} (max)$  - длительность цикла определенная с учетом максимально нагруженного направления движения в каждой из фаз регулирования, сек.

Технически можно просчитать все 42 режима, но из них необходимо выбрать только 8. Как же это сделать?

Для решения поставленной задачи, предлагается использовать графический метод выбора необходимого плана управления.

После проведенных натурных исследований и оптимизации существующих режимов работы светофорного объекта в специализированном программном продукте TRNSYT-7FR, на пересечении пр-т Ватутина – ул. Костюкова вместо 4-х режимов предлагается использовать 8. Полученная закономерность в расчете длительности каждой из фаз регулирования (1), говорит о не целесообразности использования для оптимизации интенсивности по всем направлениям движения. Все это позволяет построить график для определения необходимого режима работы светофорного объекта в зависимости от изменения интенсивности по наиболее нагруженному направлению в каждой фазе регулирования (рис.6).

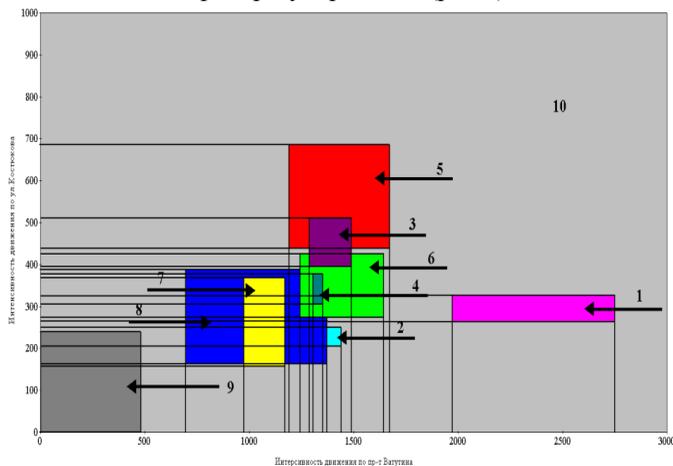


Рисунок 6. График для определения режима работы светофорного объекта на пересечении пр-та Ватутина – ул. Костюкова

- 1 – область использования режима 1;
- 2 – область использования режима 2;
- 3 – область использования режима 3;

- 4 – область использования режима 4;
- 5 – область использования режима 5;
- 6 – область использования режима 6;
- 7 – область использования режима 7;
- 8 – область использования режима 8;
- 9 – область, при которой не целесообразно использовать светофорное регулирование;
- 10 – область, подлежащая последующим расчетам.

При вводе оптимизированных циклов регулирования на пересечении пр-та Ватутина – ул. Костюкова, ввод полученных режимов регулирования будет осуществляться согласно графику для данного пересечения (см. рис. 6). Режим 1 необходимо использовать при распределении интенсивности ТС в наиболее нагруженном направлении по пр-ту Ватутина от 1978 до 2751 ед./час, по ул. Костюкова данный режим необходимо использовать при распределении от 265 до 324 ед./час. Режим 2 необходимо внедрять при распределении интенсивности ТС в наиболее нагруженном направлении по пр-ту Ватутина от 1376 до 11437 ед./час, по ул. Костюкова при распределении количества транспортных средств от 206 до 249 ед./час. Длительность фаз рассчитанная для режим 3 будет использоваться при распределении интенсивности по пр-ту Ватутина от 1290 до 1486 ед./час, по ул. Костюкова от 398 до 508 ед./час. Режим 4 будет необходим при распределении интенсивности по пр-ту Ватутина от 1307 до 1349 ед./час, по ул. Костюкова от 438 до 684 ед./час. Режим 5 будет использоваться при распределении интенсивности по пр-ту Ватутина от 1196 до 1670 ед./час, по ул. Костюкова от 274 до 423 ед./час. Режим 6, при распределении интенсивности по пр-ту Ватутина от 1249 до 1640 ед./час, по ул. Костюкова от 274 до 423 ед./час. Последние, полученный режимы 7,8 будут необходимы при распределении интенсивности по пр-ту Ватутина от 975 до 116 ед./час и от 698 до 1369 ед./час, а по ул. Костюкова от 159 до 368 ед./час и от 165 до 387 ед./час соответственно (см. табл. 1).

При построении графа (см. рис.6) согласно условию 1 ввода светофорного объекта [3], была выявлена область 9, при которой не целесообразно использовать светофорный объект на рассматриваемом пересечении. Оставшаяся область 10 при необходимости подлежит дальнейшим расчетам. Но на сегодняшний день нужды в данном мероприятии нет, т.к. в ходе натурных исследований пересечения, ни одно из направлений не имело распределений интенсивности попадающих в оставшуюся не просчитанной область.

Таблица 10. Распределение интенсивности ТС при выборе оптимальных режимов регулирования на пересечении пр-та Ватутина – ул. Костюкова

Оптимизированный режим регулирования	Наибольшее и наименьшее значение интенсивности в наиболее нагруженном направлении пр – та Ватутина, ед./час	Наибольшее и наименьшее значение интенсивности в наиболее нагруженном направлении ул. Костюкова, ед./час
Режим 1	2751	324
	1978	265
Режим 2	1437	249
	1376	206
Режим 3	1486	508
	1290	398
Режим 4	1349	376
	1307	307
Режим 5	1670	684
	1196	438
Режим 6	1640	423
	1249	274
Режим 7	1168	368
	975	159
Режим 8	1369	387
	698	165

Данная методика может быть использована при определении рациональных планов управления при ограниченных возможностях АСУДД, что особенно важно для тех населенных пунктов, где имеется значительное количество светофорных объектов.

Однако при применении такой технологии остается нерешенным вопрос больших натуральных исследований характеристик транспортного потока, решение которого возможно при помощи специальных математических моделей, которые будут рассмотрены в следующих статьях.

#### Список литературы:

1. <http://autoconsultant.com.ua/russiannews/view/1966/>
2. Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., Пенза, 18-20 мая 2010 г., / Пенз. гос. ун-т архит. и строит. - Пенза: ПГУАС, 2010. - Ч.1. - 356 с.
3. *Кременец, Ю. А.* Технические средства организации дорожного движения: учебник для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – МИКЦ «Академкнига», 2005 – 279 с.

## СДВИГОУСТОЙЧИВОСТЬ ШЕБЁНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

**Шухов В.И., канд. техн. наук, профессор,  
Тоболенко С.С., аспирант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

В предыдущих исследованиях [1] нами определены сдвиговые характеристики асфальтобетона А, Б и Г, нормируемого [2]. Показано, что асфальтобетон типа А обладает наибольшей сдвигоустойчивостью по сравнению с другими типами и его рекомендуется применять в верхних слоях дорожных покрытий на грузонапряжённых участках автомобильных дорог. Можно предположить, что щебёночно-мастичный асфальтобетон обладает более высокой сдвигоустойчивостью по сравнению с асфальтобетоном типа А. Для доказательства этого предположения необходимо определить характеристики сдвигоустойчивости щебёночно-мастичного асфальтобетона и сравнить их с асфальтобетоном обычного вида.

Под совместным воздействием тяжёлых и многоосных автомобилей и природно-климатических факторов на асфальтобетонных покрытиях дорожных одежд накапливаются усталостные и остаточные деформации в виде разрушений, часто колеи. Для принятия мер по исключению или замедлению процессов колееобразования необходимо знать расчётные характеристики сдвигоустойчивости асфальтобетона различных видов для их применения на соответствующих участках автомобильных дорог.

Для определения характеристик сдвигоустойчивости щебёночно – мастичного асфальтобетона (работа на разрушение образца, коэффициент внутреннего трения) нами запроектированы и испытаны щебёночно-мастичные асфальтобетоны вида ЦМА - 10, ЦМА – 15, ЦМА – 20 по ГОСТ 31015-2002 [3].

В составе щебёночно-мастичного асфальтобетона ЦМА -10 использовали гранитный щебень фракциями от 5 до 10 мм Новопавловского карьера Днепропетровской области (Украина), дроблёный песок (отсев) ОАО «Павловскгранит» Воронежской области, минеральный порошок марки МП-1 ОАО «Гурово-бетон» Тульской области, битум нефтяной дорожный БНД 60/90 ОАО «Московский нефтеперерабатывающий завод», стабилизирующую добавку Viator-66.

Гранитный щебень фракции 5-10 мм имеет следующие показатели физико – механических свойств: содержание зёрен пластинчатой и игловатой формы 20%, содержание зёрен слабых пород 3%, содержание пылевидных и глинистых частиц 0,8%, марка щебня по прочности «1200», марка щебня по истираемости И-1, марка щебня по морозостойкости F -300. Щебень фракции 5-10 мм соответствует требованиям ГОСТ 8267-93 [4].

Гранитный дроблёный песок характеризуется следующими показателями физико-механических свойств: содержание зёрен крупностью 0 выше 5 мм 9,1%, модуль крупности 2,91, марка зёрен песка по дробимости 1400, марка зёрен песка по морозостойкости F-300, содержание глинистых частиц 0,45%, насыпная плотность 1,34 г/см<sup>3</sup>. Дроблёный песок соответствует требованиям ГОСТ 8736-95 [5].

Минеральный порошок из известняка: марка прочности исходной горной породы 600, содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,67%. Зерновой состав, % по массе: мельче 1,25 мм 100, мельче 0,315 – 99,5, мельче 0,071 мм – 72,6. Минеральный порошок по показателям свойств соответствует ГОСТ 52129-2003 [6].

Битум нефтяной вязкий БНД 60/90 характеризуется следующими показателями свойств: глубина проникания иглы при 25<sup>0</sup>С 86мм<sup>-1</sup>, температура размягчения по кольцу и шару 48<sup>0</sup>С, растяжимость при 25<sup>0</sup>С 100 см, температура хрупкости -18<sup>0</sup>С, индекс пенетрации – 04. Битум соответствует требованиям ГОСТ 22245-90 [7].

Зерновой состав минеральных материалов для щебёночно-мастичного асфальтобетона ЦМА-10 приведён в таблице 1.

Таблица 1 – Зерновой состав минеральных материалов для щебёночно-мастичного асфальтобетона ЦМА-10

Материалы	частные остатки, % по массе, на ситах, мм									
	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
Щебень гранитный фракции св 5 до 10 мм	-	5	90	5	-	-	-	-	-	-
Песок из отсева дробления фракции св 5 до 10 мм	-	-	-	30,5	29,2	17,3	10	4,5	4,5	4

Минеральный порошок известняковый МП-1	-	-	-	-	-	-	-	-	16,9	10	73,1
--	---	---	---	---	---	---	---	---	------	----	------

На основе данных сходных материалов с учётом требований ГОСТ 31015-2002 [3] запроектирован состав щебёночно-мастичного асфальтобетона ЦМА-10, состоящий из щебня фракции св 5 до 10 мм – 68%, песка из отсева дробления фракции св 0 до 10 мм – 22%, минерального порошка МП-1 – 10%, битум БНД 60/90 – 6,8% с ПАВ «Адгезол» – 1,2%, стабилизатор «Viator-66» - 0,4%.

Зерновой состав минеральной части щебёночно – мастичного асфальтобетона ЦМА-10 принятого состава соответствует ГОСТ 31015-2002, приведённый в таблице 2

Таблица 2 – Зерновой состав минеральной части щебёночно-мастичного асфальтобетона ЦМА-10

Материалы	Состав, % по массе	частные остатки, % по массе, на ситах, мм										
		15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071	
Щебень гранитный фракции св 5 до 10 мм	68		5	90	5	-	-	-	-	-	-	-
Песок из отсева дробления фракции св 5 до 10 мм	22	-	-	-	30,5	29,2	17,3	10	4,5	4,5	4	
Минеральный порошок известняковый МП-1	10	-	-	-	-	-	-	-	16,9	10	73,1	
итого	100	-	3,4	61,2	10,12	6,42	3,8	2,2	2,68	1,99	8,19	
Полные остатки	-	-	3,4	64,6	74,72	81,14	84,94	87,14	89,82	91,81	100	
Полный проход	-	100	96,6	35,4	25,28	18,86	15,06	12,86	10,18	8,19	0	
Требования ГОСТ 31015-2003	-	100	90-100	30-40	19-29	16-26	13-22	11-20	10-17	10-15	-	

Из таблицы 2 видно, что запроектированный состав щебёночно-мастичного асфальтобетона ЦМА-10 соответствует ГОСТ 31015-2001.

Зерновые составы минеральной части щебёночно-мастичных асфальтобетонов ЦМА-15, ЦМА-20 незначительно отличались от асфальтобетона ЦМА-10 за счёт дополнительного содержания щебня фракции 15 и 20 мм соответственно.

Для определения физико-механических свойств запроектированного щебёночно-мастичного асфальтобетона ЦМА-10 изготовлены образцы – цилиндры диаметром и высотой 71,4 мм.

Определение физико-механических свойств щебёночно-мастичного асфальтобетона ЦМА-10 проведены по методике ГОСТ 12801-98 [8] и ГОСТ 31015 – 2002 [3].

Таким же образом изготавливали и испытывали образцы щебёночно-мастичного асфальтобетона вида ЦМА-15 и ЦМА-20.

Показатели физико-механических свойств щебёночно-мастичных асфальтобетонов ЦМА-10, ЦМА-15 и ЦМА-20 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели физико-механических свойств щебёночно-мастичных асфальтобетонов.

Наименование показателей	Требования ГОСТ 31015- 2002 для II, III ДКЗ0	Фактические показатели для асфальтобетонов вида		
		ЦМА-10	ЦМА-15	ЦМА-20
Средняя плотность г/см <sup>3</sup>		2,34	2,34	2,34
Пористость минеральной части, % по объёму	от 15 до 19	16,4	16,8	17,2
Остаточная пористость, % по объёму	от 1,5 до 4,5	2,5	2,6	2,8
Водонасыщение, % по объёму	1,0-4,0	1,77	1,92	2,34
Предел прочности при сжатии, Мпа при температуре				
20 <sup>0</sup> С	не менее 2,2	5,2	4,8	4,6
50 <sup>0</sup> С	не менее 0,65	1,5	1,4	1,3
Показатель стекания вяжущего, % по массе	не более 0,2	0,12	0,13	0,14
Сдвигоустойчивость:				
коэффициент внутреннего трения	не менее 0,93	0,94	0,95	0,96
Сцеп. При сдвиге при 50 <sup>0</sup> С	не менее 0,18	0,76	0,77	0,78
Трещиностойкость - предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0 <sup>0</sup> С, Мпа	от 2,5 до 6,0	3,6	3,7	3,8
Водостойкость при длительном водонасыщении	не менее 0,85	0,95	0,94	0,93

Сцепление битума с мин. Часть асфальтобетонной смеси	Выдерживает	Выдерживает	Выдерживает	выдерживает
--	-------------	-------------	-------------	-------------

Из таблицы 3 следует что, все показатели физико-механических свойств щебёночно-мастичных асфальтобетонов ЩМА-10, ЩМА-15 и ЩМА-20 соответствуют требованиям ГОСТ 31015-2002 и данные асфальтобетоны могут быть испытаны на сдвигоустойчивость.

Характеристики сдвигоустойчивости щебёночно-мастичных асфальтобетонов указанных видов определяли по методике ГОСТ 12801-98. Результаты экспериментальных определений, вычислений показателей характеристик сдвигоустойчивости приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели характеристик сдвигоустойчивости щебёночно-мастичных асфальтобетонов.

Вид асфальтобетона	Работа на разрушение образца		Коэффициент внутреннего трения $\text{tg}\varphi$	Лабораторный показатель сцепления при сдвиге $\text{Сл, Мпа}$
	При одноосном сжатии Ас, Дж	По схеме Маршалла Ам, Дж		
ЩМА-10	291,45	910,15	0,94	0,76
ЩМА-15	302,09	924,37	0,95	0,77
ЩМА-20	306,74	938,55	0,96	0,78

Из данных таблицы 4 следует, что наибольшей сдвигоустойчивостью обладает щебёночно-мастичный асфальтобетон ЩМА-20. Его необходимо применять для устройства верхних слоёв дорожных покрытий на самых напряжённых участках автомобильных дорог.

#### Список литературы:

1. *Шухов, В. И.* Сдвигоустойчивость асфальтобетона различных типов / В.И. Шухов, С.С. Тоболенко // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: сборник докладов. - Белгород, 2010. - Ч. 3. – С. 316-319.
2. ГОСТ 9128-2009. Смеси асфальтобетонные, дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – Взамен ГОСТ 9128-97; введ 1.01.2011. – М.: Стандартинформ, 2010. - 18с.
3. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебёночно-мастичные. Технические требования. – Введён впервые 01.05.2003. – М.: Издательство стандартов, 2002. - 18с.

4. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – Взамен ГОСТ 8267-82, ГОСТ 8268-82, ГОСТ 10260-82, ГОСТ 23254-78, ГОСТ 26873-86; введ. 01.01.1995. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 15с.
5. ГОСТ 8736-95. Песок для строительных работ. Технические условия. – Взамен ГОСТ 8736-85, ГОСТ 26193-84; введ. 01.01.1995. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 10с.
6. ГОСТ 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические требования. – Взамен ГОСТ 16557-78, ГОСТ 12784-78; введ. 27.06.2003. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 22с.
7. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. – Взамен ГОСТ 22245-76; введ. 01.01.1991. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 9с.
8. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. – Взамен ГОСТ 12801-84; введ. 01.01.1999. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 38с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КЕРАМЗИТОВОЙ ПЕЧИ**

**Юдин Д.А., аспирант,  
Магергут В.З., д-р техн. наук, профессор**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Автоматизированный визуальный мониторинг технологических процессов часто является важной задачей для предприятий различных отраслей промышленности. В частности, в промышленности строительных материалов необходимо тщательно контролировать процесс обжига во вращающихся печах, который оказывает определяющее влияние на качество конечного продукта (например, цементного клинкера или керамзитового гравия) и отличается высокой энергоемкостью. Анализ визуальной информации о процессе позволяет снизить избыточный расход топлива и повысить качество продукта на выходе печи. Традиционные средства автоматизации не позволяют решать интеллектуальную задачу обработки и распознавания изображений. Это требует применения систем технического зрения (СТЗ) в составе систем мониторинга и оперативного управления печами [1].

СТЗ обычно представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из датчика изображений (видеокамеры) и программного обеспечения, реализующего алгоритмы распознавания. Для задачи мониторинга процессов во вращающихся керамзитовых печах может быть применена типовая промышленная ПЗС(СDD)-видеокамера, и основной проблемой является разработка математического и программного обеспечения системы мониторинга.

Для решения указанной проблемы разработан способ распознавания изображений, который основан на математическом аппарате самоорганизующихся карт (Self-Organizing Map - SOM), одной из разновидностей искусственных нейронных сетей, и аппарате нечеткой логики.

В ходе мониторинга процессов во вращающейся керамзитовой печи (рис. 1) необходимо выделять следующие признаки процесса (образы):

1) оценка температурного поля материала в печи (перегрев, норма, недостаточный нагрев); 2) высота подъема (отвал) материала в печи; 3)

оценка отклонения размеров гранул продукта от нормы; 4) оценка температурного поля пламени факела; 5) оценка диаметра факела; 6) оценка расположения головки горелки печи; 7) запыленность; 8) общее состояние зоны наблюдения.

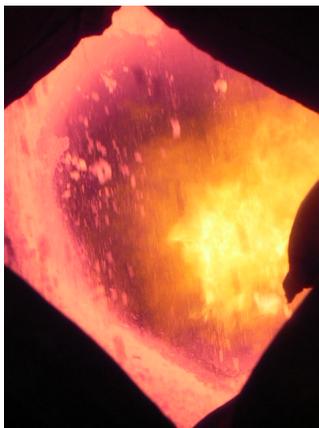


Рис. 1. Видеоизображение процессов во вращающейся керамзитовой печи

Из рис. 1. видно, что на видеоизображении процессов практически нет естественных контуров, отделяющих материал от пламени, материал от футеровки печи. Поэтому для решения задачи распознавания изображений целесообразно применить текстурный анализ с использованием самоорганизующихся карт [2]. Текстурный анализ позволяет в данном случае осуществить сегментацию изображения, то есть разделить изображение на области различных типов, например, «материал», «пламя», «футеровка», «корпус печи» и др. Затем, вычислив информативные показатели для областей каждого типа, можно сделать вывод о признаках процесса, которые необходимы для выработки технологических рекомендаций и непосредственного мониторинга вращающейся печи.

Основные этапы обработки и распознавания видеоизображения процессов в печи приведены на рис. 2.

Исходными данными является видеоизображение размером  $N \times N$  пикселей (для рассматриваемой задачи выбрана камера с максимальным разрешением  $1600 \times 1200$  пикселей). Изображение разбивается на квадратные области размером  $K \times K$  пикселей, где  $K \ll N$  и  $K \ll M$ , величина  $K$  выбирается исходя из требований к быстродействию алгоритма и точности выделения сегментов изображения. Для каждой

из областей формируется матрица смежности соседних пикселей  $M_d$ , где  $d$  – расстояние между парами пикселей для каждой из  $K$  строк, отсчитываемое слева направо [2]. Размерность матрицы для данной задачи составляет  $256 \times 256$ , число 256 отражает количество градаций интенсивности пикселей. Каждый элемент матрицы смежности  $M_d(i, j)$  показывает число вхождения пар пикселей с интенсивностью  $i$  и интенсивностью  $j$  в область изображения размерностью  $K \times K$ . На основании матрицы  $M_d$  можно вычислить статистическую «энергетическую» характеристику  $Q_d$  для данной области изображения

$$Q_d = \sum_i \sum_j M_d^2(i, j)$$



Рис. 2. Этапы обработки видеоизображения процессов во вращающейся печи

Вычислив  $Q_d$  для разных расстояний  $d = 1 \dots r$ , можно сформировать вектор энергетических характеристик  $Q = \{Q_1, Q_2 \dots Q_r\}$  для каждой из областей изображения.

Указанный вектор энергетических характеристик  $Q$  будет являться входным для самоорганизующейся карты. Самоорганизующаяся карта в общем случае представляет собой двухмерную нейронную сеть, узлы которой после обучения на векторах  $Q$  всех областей изображения будут соответствовать определенному типу входных векторов. Таким образом, размерность SOM для рассматриваемой задачи не должна быть большой и выбирается эмпирически. Однако на базе сформированной карты типов областей изображения необходимо выделить несколько характерных для задачи классов. Эта задача классификации успешно может быть решена с применением алгоритма К-средних [2] или его модификаций.

На последнем этапе распознавания изображения для каждого из сегмента изображения, который образован областями одного класса, вычисляются средние, максимальные, минимальные интенсивности пикселей и другие информативные показатели. Эти числа в одном из вариантов реализации могут быть поданы на вход системы нечеткого вывода, которая связывает эти показатели и признаки (образы) процесса. Структура такой системы показана на рис. 3.

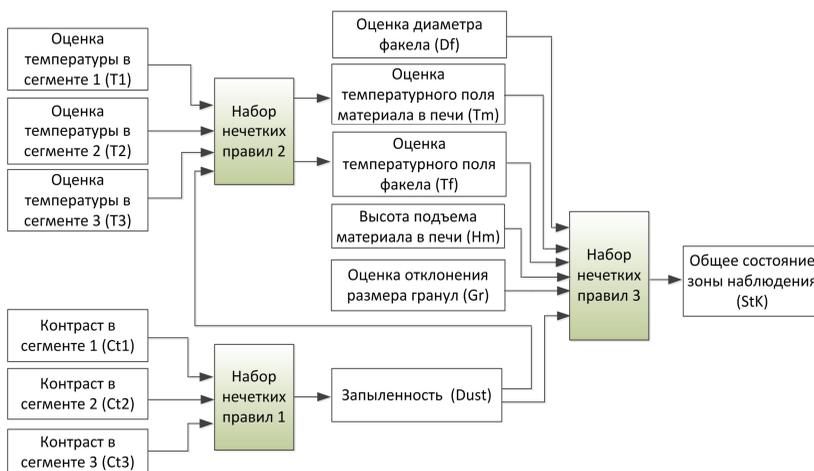


Рис. 3. Структура системы нечеткого вывода

Форма и численные значения термов нечетких переменных должны учитывать особенности технологического процесса обжига керамзитового гравия и представляют собой формализацию знаний операторов вращающейся керамзитовой печи. В качестве нечетких правил применяются производственные правила вывода по Мамдани с трапециевидными функциями принадлежности термов нечетких переменных. Такой выбор обусловлен, прежде всего, простотой программной реализации такого нечеткого вывода.

Предлагаемый способ распознавания изображений процессов во вращающейся печи позволит разработать систему технического зрения, которая является важной составляющей целостной системы управления вращающейся печью. Автоматизация визуального контроля, в конечном счете, обеспечит повышение производительности труда и переход на новый уровень качества продукции, что необходимо для эффективной

работы предприятия в конкурентной рыночной среде. Практическую реализацию исследований и разработку системы мониторинга вращающейся печи предполагается проводить на керамзитовой печи Завода строительных материалов ОАО «КМАПроектжилстрой» (г. Старый Оскол).

В работе рассмотрена система мониторинга для керамзитового производства, но с незначительной доработкой она может быть применена для вращающихся цементных печей. Это касается, в основном, заводов, производящих цемент по мокрому и комбинированному способу, которые имеют низкий уровень автоматизации. Модернизация системы управления для них является необходимой мерой повышения конкурентоспособности.

#### **Список литературы:**

1. *Юдин, Д. А.* Интеллектуальная система мониторинга и оперативного управления вращающимися печами обжига с применением технического зрения / Д. А. Юдин // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 5-8 окт. 2010 г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – Ч.3. – С. 320-325.
2. *Кохонен, Т.* Самоорганизующиеся карты / Т. Кохонен; пер. 3-го англ. изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 655 с.

## **РАСПОЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА В ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

**Юрьев А.Г., д-р техн. наук, профессор,  
Смоляго Н.А., канд. техн. наук, доцент,  
Толбатов А.А., канд. техн. наук, доцент,  
Яковлев О.А.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Железобетон со времени его изобретения во Франции (Ламбо, Монье, Куане) стал типичным примером сочетания материалов для раздельного восприятия усилий растяжения и сжатия. Сталь является особенно пригодным материалом для сопротивления напряжениям растяжения. Для сопротивления напряжениям сжатия стальными стержнями должны быть приданы формы, обеспечивающие боковую устойчивость. Кроме того, сталь подвержена коррозии и слабо сопротивляется высоким температурам. Бетон характеризуется малым сопротивлением растяжению, сравнительно высоким сопротивлением сжатию и долговечностью. Он является хорошим огнеупорным материалом и прекрасно защищает сталь от огня. В то же время сталь, помещенная в бетон, предохранена от коррозии. Как и следовало ожидать, в железобетоне сталь отвечает за сопротивление растяжению, а бетон – за сопротивление сжатию.

Совершенствование искусства армирования шло параллельно с развитием научной мысли. Выявление областей с максимальными растягивающими напряжениями побудило их насыщение стальной арматурой, а восприятие сдвига в поперечных сечениях балок предусматривалось не только бетоном, но и поперечными стальными стержнями.

Совершенствовалась и структура бетона. Известно, что в балочных конструкциях в областях, прилегающих к нейтральному слою, напряжения незначительны. Рациональным решением является использование ячеистого бетона с переменным модулем деформации, нарастающим к наружной границе сжатой зоны. Технологически можно предусмотреть увеличение размеров ячеек в окрестностях нейтрального слоя. Это идея реализована, в частности, в интегральных пенопластах.

Вместе с тем, устройство опалубки, установка арматуры и заполнение пространства бетоном – чрезвычайно трудоемкая технология возведения конструкций из монолитного железобетона. Те

же операции осуществляются на заводах сборного железобетона. Поэтому вполне естественным представляется переход к композиционным материалам с бетонной матрицей, когда в качестве армирующего компонента предусматриваются волокна.

Такой материал получил название фибробетон. В зависимости от вида волокон он обозначается как сталефибробетон, стеклофибробетон, базальтофибробетон и т.д.. Установлено, что прочность материалов обуславливается не столько силами молекулярного взаимодействия, сколько технологическими дефектами – внутренними полостями, трещинами и пр. В тонких нитях дефектов значительно меньше, чем в массивных образцах. Так, при растяжении таких образцов из стекла предел прочности колеблется от 50 до 100 МПа, а для стеклянных волокон диаметром 10 мкм он возрастает до 1500-2500 МПа. Сейчас получены и используются волокна с уникальными свойствами – высокой прочностью, повышенным термическим сопротивлением. По удельной прочности волокна в несколько раз превосходят сталь, а ткани из них выдерживают температуру до 2000 оС.

Представляется актуальной проблема оптимизации фибробетона (как и пенопластов). Насыщаемость фибрами (или газовыми ячейками) должна быть подчинена силовой схеме конструкции. Другими словами, управление процессом структурообразования конструкции должно иметь подсистему напряженного состояния, прогнозирующую поведение конструкции в реальных условиях.

Природа дает нам яркие примеры конструктивной организации материала [1,2]. В структуре ткани организма приспособление конструкции к выполняемой функции проявляется уже на клеточном уровне. В то же время в лианах, которые должны противостоять исключительно растяжению, по поперечному сечению распределены вытянутые в длину волокна склеренхимы; в стеблях растений, подвергающихся изгибу, жесткие профилированные стерженьки, состоящие из одной или нескольких клеток склеренхимы, соединяются в опорно-механические системы. Их анализ на основе общефизического принципа стационарного действия выявил рациональную организацию материала, обеспечивающую его оптимальный расход при достижении максимальной жесткости структуры.

Интересны также в этом плане кольцевые или спиральные элементы жесткости в трахеях некоторых растений. Здесь утолщение из материала клеточной стенки, отложенного на внутренней стороне сосуда, обеспечивает трубке устойчивость при перепадах давления.

Известно, что максимально облегченная структура должна представлять собой решетчатую конструкцию из стержней, расположенных по траекториям внутренних силовых линий. И уже давно было обнаружено, что траектории растягивающих и сжимающих напряжений в кости находят отражение в ее губчатой структуре, т.е. в расположении костных балочек. Их оптимальные позиции не запрограммированы генетически, а возникают как ответ на нагружение скелета в процессе морфогенеза.

Поэтому исследование механических свойств материала биосистем проводится неотделимо от изучения его структуры и функциональной роли. Это связано со стремлением сочетать рациональные конструктивные формы и композиционные материалы, обладающие универсальными свойствами.

У некоторых видов кактусов, в частности у цереусов, напоминающих своей формой гигантские канделябры, мягкие ткани после отмирания полностью разрушаются, открывая взору скелет растения. Как и в железобетонной конструкции, арматура кактуса располагается в непосредственной близости от поверхности ствола, вся же внутренняя часть тела растения свободна от каркаса.

Армирование с помощью нетканого волокна повышает прочность листовых и панельных изделий из синтетических смол. Аналогичную структуру выработали растения в процессе эволюционного развития при создании прочной клеточной оболочки. Структуры синтетических материалов, армированных стеклопластиком, аналогичны структуре стенки растительной клетки.

Технические «сэндвичи» нашли широкое применение благодаря развитию таких современных производств, как индустрия пластмасс, легких сплавов и т.д. Что касается природы, то «сэндвич» - основной принцип организации структур, наблюдаемых у травянистых растений. Так, пространство между внешней и внутренней стенками стебля злака заполнено крупноячеистой, очень легкой сотовой структурой. Правильные шестиугольники наилучшим образом противостоят воздействию внешних сил.

Принцип работы природного мускула реализован в покрытии купола полиамидной тканью. На солнечной стороне такая ткань должна растягиваться. Но тепло приводит к отдаче воды из молекулярных связей, и нити укорачиваются. При охлаждении вода снова поступает в материал, и ткань растягивается.

Следует учесть, что идентификация живых организмов и инженерных конструкций возможна до известного предела,

определяемого правомочностью ввода тех или иных феноменологических характеристик материалов (модулей упругости, вязкости и др.). Последние не укладываются в рамки подхода, основанного на принципах молекулярной организации.

**Список литературы:**

1. Архитектурная бионика / под ред. Ю.С. Лебедева, – М.: СИ, 1990. – 296 с.
2. Проблемы прочности в биомеханике / под ред. И.Ф. Образцова. – М.: Высш. шк., 1988. – 312 с.

## **ВЛИЯНИЕ ФОСФОГИПСА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСФАЛЬТОБЕТОНА**

**Ядыкина В.В., д-р техн. наук, профессор,  
Епрынцева В.В., инженер,  
Высоцкая М.А., канд. техн. наук, доцент**  
*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

Как показала мировая практика, техногенные отходы могут быть инертными материалами и активными добавками для производства дорожно-строительных композитов, а также выполнять роль вяжущих веществ. В настоящее время накоплено около 80 млрд. т вторичного сырья из отходов промышленности, что занимает почти 300 тыс. га земли. Однако, степень его переработки и использования в России не превышает 7-12 % [1].

В число распространенных отходов промышленности входят гипсосодержащие продукты, среди которых важное место занимает техногенный гипс. Гипсосодержащее вторичное сырье неоднородно по химическому составу и имеет примеси, что ухудшает его свойства как сырьевого материала, а путем вмешательства в технологические процессы возможно получение качественного сырья, по своим свойствам превосходящего природный гипс [2].

Наиболее изученным является фосфогипс, многотоннажный попутный продукт производства ортофосфорной кислоты и средств бытовой химии. На территории химического комбината «Азот» г. Невинномыска Ставропольского края объемы фосфогипса оцениваются более чем 1 млн. т. Химический состав фосфогипса следующий: дигидрат сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) – в пересчете на сухой дигидрат – 95%, гигроскопическую воду – 19% и водорастворимые фтористые соединения в пересчете на фтор – 0,3%.

Анализ литературных источников показал, что фосфогипс используется в качестве гипсового сырья для изготовления стеновых материалов и изделий. Но так как фосфогипс содержит различные примеси, влияющие на свойства полученных материалов, то необходима предварительная обработка сырья.

Полученное вяжущее путем обжига или автоклавной обработкой удовлетворяет требованиям ГОСТов на строительный гипс.

Для повышения водостойкости гипсовых вяжущих вводят различные активные минеральные добавки (доменные шлаки, золы от

сжигания топлива) и портландцемент, а также химические вещества позволяющие придать изделиям из технического гипса водоотталкивающие свойства.

В дорожном строительстве фосфогипс-полугидрат нашел применение в качестве вяжущего и успешно используется при устройстве оснований дорожных одежд из щебеночно-песчаных и гравийно-песчаных материалов. Как показала практика данные материалы с применением фосфогипса самостоятельно или в сочетании с добавками (цемент, известь) могут применяться в верхних и нижних слоях оснований дорожных одежд под все типы покрытий дорог IV – V категорий, а также для дорог II – III технических категорий в нижних слоях оснований дорожных одежд [3].

Известно применение фосфогипса в составе наполнителя асфальтобетонных смесей [4]. Авторы использовали фосфогипс фракции менее 0,16 мм, измельченный в лабораторной шаровой мельнице и установили, что оптимальное количество фосфогипса в составе наполнителя является 15 – 20 об.%. Следует отметить, что и при полной замене минерального порошка из традиционного известняка на наполнитель из фосфогипса все физико-механические характеристики асфальтобетона, за исключением показателя водонасыщения, удовлетворяют требованиям ГОСТ. Однако оптимальное количество битума в этом случае составляет 9,5% против 7% при использовании минерального порошка из известняка. По-видимому это связано с высокой удельной поверхностью исследуемого минерального порошка, который составляет  $5580 \text{ см}^2/\text{г}$  [4].

В настоящей работе приводятся результаты исследования по влиянию минерального порошка из фосфогипса на физико-механические характеристики асфальтобетона. Порошки имели одинаковый зерновой состав, удовлетворяющий требованиям ГОСТ.

В качестве объекта исследования был выбран асфальтобетон типа Г с применением отсева дробления гранита. В данной смеси отсутствует щебень вследствие чего, наиболее ярко проявляются свойства асфальтовяжущего вещества и его компонента – минерального порошка. Результаты исследований представлены в таблице.

Как видно из приведенных данных фосфогипс, как минеральный порошок, оказывает положительное влияние на свойства композита. При этом предел прочности при сжатии при  $+ 50^{\circ}\text{C}$  у асфальтобетона с фосфогипсом на 31% выше, по сравнению с асфальтобетоном, содержащим традиционный известняк, предел прочности при  $+ 20^{\circ}\text{C}$

возрос на 27,7%. При 0°С наблюдается некоторое снижение прочности при сжатии у асфальтобетона, имеющего в составе фосфогипс.

Таблица – Физико-механические характеристики асфальтобетона типа Г

Показатели	Требования ГОСТ	Применяемый минеральный порошок	
		известняк	фосфогипс
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	-	2360	2364
Пористость минерального остова, % по объему	до 22	19	21
Остаточная пористость, % по объему	2,5 – 5,5	4,0	4,0
Водонасыщение, %	1,5-4,0	3,2	2,5
Набухание, %	-	1,5	1,2
Предел прочности при сжатии, МПа при температуре испытания: +50°С +20°С 0°С	не менее 1,2 не менее 2,2 не более 12	1,6 4,7 9,7	2,1 6,0 8,5
Водостойкость	0,85	0,94	0,92
Длительная водостойкость	0,75	0,90	0,87

Полученные результаты позволяют прогнозировать повышение эксплуатационных характеристик дорожного покрытия из асфальтобетона с применением фосфогипса, в качестве наполнителя. Более того, исследования показали, что при использовании указанного отхода в качестве минерального порошка у асфальтобетона наблюдается более высокая коррозионная стойкость к длительному воздействию воды.

#### Список литературы:

1. Кочеткова, Р. Г. Техногенные грунты и их применение в дорожном строительстве / Р.Г. Кочеткова // Научн.-техн. инф. сб. «Автомобильные дороги». – 2006. – №6. – 32 с.
2. Платонов, А.П. Строительные материалы и экология человека / А.П. Платонов. – Изв. вузов. Строительство – 1993. – №2. – С. 39-43.
3. Лесовик, В. С. Гипсовые вяжущие материалы и изделия / В.С. Лесовик, С.А. Погорелов, В.В. Строкова. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. – 224 с.
4. Яшин, С. О. Применение фосфогипса в составе наполнителя асфальтобетонной смеси / С.О. Яшин, Ю.Г. Борисенко. - Строительные материалы. – 2009. - №11. - С. 18-19.

## РЕФЕРАТЫ

*Магергут, В. З.* Идентификация параметров аperiodического звена по характеристикам двух точек фрагмента кривой разгона / В. З. Магергут, В. А. Игнатенко // *Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 6-8.*

Разработана методика идентификации параметров аperiodического звена по двум произвольным точкам кривой разгона. Данная методика позволяет идентифицировать объект по любым разгонным характеристикам объекта, полученным в режиме нормального функционирования объекта.

*Марков, Д. В.* Повышение эффективности системы транспортно-складского оборудования при производстве бетонорастворных смесей / Д. В. Марков, М. Н. Ерофеев // *Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 9-13.*

Доклад посвящён анализу структуры комплексов бетоносмесительного производства и способам повышения их транспортно-складской системы.

*Моргун, Л. В.* Номенклатура изделий из фибропенобетона / Л. В. Моргун, П. В. Смирнова, К. И. Костыленко, О. В. Пушенко, В. Н. Моргун, А. Ю. Богатина // *Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 14-19.*

Выполнен сравнительный анализ теплоизоляционных материалов, применяемых для устройства стен зданий. Показано, что фибропенобетон пригоден для широкой номенклатуры изделий.

*Морозовский, А. А.* Рециклинг в сфере транспортного машиностроения / А. А. Морозовский // *Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 20-24.*

В статье рассмотрен опыт зарубежных стран и Российской Федерации по вопросам утилизации вышедших из эксплуатации транспортных средств и их компонентов.

*Набоков, Р. А.* Преобразователь напряжения для создания температурного поля при выращивании кристаллов сапфира с устройством демпфирования хаотических колебаний / Р. А. Набоков, В. Г. Рубанов // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 25-29.

В статье рассматривается преобразовать напряжения для создания температурного поля при выращивании кристаллов сапфира и демпфирование хаотических колебаний напряжения этого преобразователя псевдолинейным корректирующим устройством.

*Недоносков, А. Б.* Методика определения параметров асфальтобетонного покрытия при СВЧ-нагреве / А. Б. Недоносков, С. А. Гузенок, В. В. Волков // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 30-32.

Прочность асфальтобетонной дорожной одежды зависит от многих параметров и в большой степени от температуры. С ней связаны многие температурно зависимые характеристики смеси и в особенности битумные материалы. Измерение этих параметров в уложенном асфальтобетоне представляет определенную трудность. В материале данной статьи показана неразрушающая методика СВЧ нагрева слоя асфальтобетонного покрытия для определения температурно зависимых параметров материалов для оценки состояния дорог

*Несмеянов, Н. П.* Рациональный подход к смешению сыпучих материалов в противоточном спирально-лопастном смесителе / Н. П. Несмеянов, П. С. Горшков // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 33-35.

В статье рассматриваются перспективы развития рынка сухих строительных смесей. Дано описание процесса производства и рассмотрено основное технологическое оборудование. Отдельно дано

описание смесительного узла и предложена конструкция спирально-лопастного смесителя с описанием принципа действия.

*Никонов, А. С.* Теплоизоляционный материал пониженной плотности на основе отходов стекольной промышленности / А. С. Никонов, Ю. Т. Панов // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 36-40.

Показано, что применение комбинированного газообразователя на основе карбоната кальция и нитрата натрия позволяет получить пеноматериал с плотностью около  $80 \text{ кг/м}^3$  с использованием отходов стекольной промышленности. Приведены свойства разработанного теплоизоляционного материала.

*Никулин, Н. Ю.* Современная схема очистки биогаза от твердых и газообразных примесей / Н. Ю. Никулин, Л. А. Кушев, В. И. Паки, А. И. Алифанова // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 41-45.

Статья посвящена актуальной проблеме – очистке биогаза при помощи абсорбера и фильтра на базе фторопластовых фильтропакетов. Предложенная схема очистки позволяет удалить из биогаза механические газообразные примеси в соответствии с нормативными требованиями.

*Октобер, М. М.* Современное состояние теории расчета и степени изученности реальной работы подпорных стен / М. М. Октобер // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 46-51.

В статье рассмотрены теоретические воззрения и результаты исследований ряда известных ученых в области работы подпорных стен. Проанализированы основанные преимущества и недостатки проведенных исследований.

*Октобер, М. М.* К уточнению классификации подпорных стен / М. М. Октобер // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 52-56.

В статье приведена классификация различных конструкций подпорных стен. Особое внимание уделено эффективности тонкоэлементные подпорные стены. В частности, рассмотрены конструкции подпорных стен с армированием грунта.

*Панченко, Л. А.* Эффект стеклопластиковой обоймы в трубобетоне / Л. А. Панченко // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 57-62.

Прогрессивными композиционными материалами являются полимеры, армированные волокнами (ПАВ). Их можно применять для ограничения бетонных колонн. Использование волокнистых композитов является относительно новым подходом, работы в этой области малочисленны, а модели, применявшиеся для усиления стальной, не совсем применимы при усилении ПАВ.

*Подольский, В. П.* Оценка эксплуатационного состояния дорожной конструкции на всех этапах её жизненного цикла / В. П. Подольский, В. В. Волков // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 63-67.

На сегодняшний момент разработана новая концепция проведения ремонтных мероприятий, основанная на продлении эксплуатационно-технического ресурса работоспособности покрытий, путем периодического выполнения ремонтных работ, направленных на устранение возникающих повреждений, не допуская их развития и накопления.

*Попов, А. Н.* Методика оценки технического состояния жестких аэродромных покрытий с позиции теории риска / А. Н. Попов, И. Г. Шашков // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 68-73.

Действующие нормативные методы оперативной оценки эксплуатационно-технического состояния аэродромных покрытий, базирующиеся на общих принципах градации дефектов и определения интегрального сводного обобщенного показателя состояния покрытия, зачастую дают результаты, противоречащие друг другу, что усложняет принятие решения на эксплуатацию. В статье предложена классификация линейных сооружений аэродромов по степени

ответственности, представлены теоретические основы и практические рекомендации оценки технического состояния жестких аэродромных покрытий по допустимому уровню надежности с использованием основных положений теории надежности и теории риска, опирающиеся на новые принципы технического регулирования, установленные Федеральным Законом № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

*Потапенко, А. Н.* Возможности математического моделирования процессов в централизованных системах маслосмазки мельниц / А. Н. Потапенко, Н. Б. Сибирцева, Н. В. Черкашин // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 78-82.

В данной статье рассмотрены возможности математического моделирования процессов в централизованных системах маслосмазки, которые применяются для смазки трущихся частей различного рода дробильного и помольного оборудования, в том числе представлены блок-схемы, включающие основные элементы гидросистем, которые обеспечивают стабилизацию температурных режимов в системах централизованной смазки.

*Романова, Е. В.* Определение методом частиц характеристик транспортного воздействия на покрытие внутриквартальных дорог / Е. В. Романова, Ф. В. Матвиенко, В. В. Волков // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 93-97.

От качественного состояния городских дорог в значительной степени зависят работа грузового и пассажирского автомобильного транспорта, а также стоимость перевозок. Состояние городских дорог влияет также на безопасность движения. Определить важные характеристики потоков транспорта возможно с использованием вычислительного метода частиц.

*Романова, Е. В.* Технология определения стойкости к износу асфальтобетонного покрытия при воздействии транспортного потока / Е. В. Романова, Ф. В. Матвиенко, В. В. Волков, В. П. Подольский // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 98-102.

Данные об износе асфальтобетонного покрытия дороги необходимы при оценке эксплуатационного состояния дорожной конструкции находящейся под воздействием интенсивного транспортного потока. В материале изложена технология и показана методика проведения измерений, позволяющая исследовать и измерить величины износа реального покрытия при воздействии транспортного потока.

*Сердюкова, А. А.* Противоморозные добавки: критерии технологической и технической эффективности. Обеспечение долговечности железобетонных конструкций / А. А. Сердюкова // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 103-110.

В статье рассмотрены аспекты проектирования состава бетонных и растворных смесей с противоморозными добавками: обеспечение технологических и технических показателей смесей и долговечности железобетонных конструкций.

*Сиваченко, Л. А.* Пути развития современного технологического / Л. А. Сиваченко // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 111-118.

В статье приведены результаты анализа в области промышленной переработки сырья и материалов. Показаны резервы повышения эффективности и предложены организационные формы перевооружения базовых отраслей народного хозяйства на основе создания отечественного технологического машиностроения.

*Синица, Г. Н.* Моделирование изменения реологических свойств многослойного ленточного герметизирующего материала, уложенного в швы цементобетонного покрытия / Г. Н. Синица, В. В. Волков // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 119-122.

Появление новых материалов для обеспечения герметизации конструкций, позволяет по-новому рассмотреть вопрос об их применении в строительстве аэродромных покрытий. Использование ленточных уплотнителей позволяет повысить герметичность деформационных швов. Обладая высокой деформативностью, их

применение, позволит разработать новые технологические операции уплотнения швов.

*Slawomir, Heller* Опыт обследования и мониторинг состояния автомобильных дорог в Германии / Slawomir Heller, Н. Г. Горшкова, А. О. Короткова, Ю. С. Морозова // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 123-128.

Статья посвящена изучению опыта мониторинга и обследования автомобильных дорог в Германии. Используемая система мониторинга, разработанные программы сбора и обработки данных обследования дорог, впечатляющая визуализация заслуживает одобрения.

*Соколов, И. В.* Применение теории фракталов в вопросах управления техническим состоянием строительных машин и оборудования / И. В. Соколов // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 129-133.

Доклад посвящён обзору и применению математических множеств обладающих свойством подобия (фракталов) в теории надёжности и управления техническим состоянием строительных машин и оборудования.

*Тарасюк, П. Н.* Техничко-экономическая модернизация муниципальных котельных / П. Н. Тарасюк, П. А. Трубаев // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 134-138.

В работе представлена технико-экономическая оценка модернизации котельных Борисовского района. Рассчитано что, при выполнении программы, возможные риски не приводят к ухудшению положения и отрицательной рентабельности проекта.

*Траутвайн, А. И.* Образование активных центров при помолле минеральных материалов в различных мельницах и их влияние на взаимодействие в контактной зоне / А. И. Траутвайн // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф.,

Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 139-143.

В статье подробно изучен гранулометрический состав минеральных порошков, измельченных в различных помольных агрегатах, а также повышение концентрации активных центров в процессе помола. Отмечено улучшение взаимодействия активированных механическим способом минеральных порошков с битумом по сравнению с неактивированными. На основании этого сделано предположение о том, что асфальтобетон с использованием свежеразмолотого минерального порошка повысит его качество и долговечность.

*Уварова, Ю. С.* Синтез наноструктур в уплотнительных материалах узлов транспортных и технологических машин / Ю. С. Уварова // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 152-163.

В статье рассмотрены вопросы герметизации и уплотнения соединений, материалы, применяемые при этом, их свойства. Проанализированы возможности создания уплотнительных материалов с использованием наноматериалов. Рассмотрены основные типы моделирования наноразмерных структур.

*Украинский, В. А.* Использование пакетов численного моделирования для исследования тепло-массообменных и газодинамических процессов / В. А. Украинский, П. А. Трубаев // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 164-167.

Рассмотрены задачи компьютерного (имитационного) моделирования промышленных теплотехнологических процессов с помощью пакетов прикладных программ моделирования гидрогазодинамики и тепломассообмена. Дан сравнительный обзор современных CAE и CFD-систем, показаны их преимущества и недостатки по сравнению с традиционным компьютерным моделированием

*Украинский, В. А.* Экспериментальное исследование теплообмена при принудительной фильтрации воздуха через слой клинкерных гранул / В. А. Украинский, П. А. Трубаев, Б. М. Гришко // Инновационные

материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 168-170.

Приведены результаты исследования теплообмена при принудительной фильтрации воздуха через слой клинкерных гранул, нагретых до высоких температур, и получены уравнения, связывающее критерии подобия  $Re$  и  $Nu$ . Выделены три зоны аэродинамического режима, характеризующиеся разной интенсивностью теплообмена.

*Федоренко, В. Ю.* Селективный материал для временной кольтматации призабойной зоны пласта / В. Ю. Федоренко, М. М. Нигьматуллин, Г. Г. Боровиков, С. В. Крупин // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 171-173.

На основе ПАВ разработан состав для временной селективной кольтматации. Состав может быть использован для временной изоляции промытых зон на объектах с высокой минерализацией пластовых вод в ходе кислотных обработок.

*Федоров, М. Ю.* Влияние пористых дисперсных наполнителей на асфальтовяжущее / М. Ю. Федоров, Д. А. Кузнецов // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 174-177.

В статье рассмотрена возможность использования пористых дисперсных наполнителей в качестве минеральных порошков для асфальтобетонных смесей. Определены физико-механические характеристики наполнителей, рассмотрено их влияние на свойства асфальтовяжущего. Сделаны выводы о полученных результатах.

*Черкасов, В. Г.* Оптимизация отряда машин для эффективного уплотнения асфальтобетонных смесей / В.Г. Черкасов, Э.В. Котлярский // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 178-188.

Статья связана с разработкой методики автоматизации процесса подбора оптимального состава отряда машин для эффективного уплотнения асфальтобетонных смесей

*Шухов, В. И.* Сдвигоустойчивость щебёночно-мастичных асфальтобетонов / В. И. Шухов, С. С. Тоболенкор // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч.2. – С. 197-202.

В статье рассматриваются вопросы определения характеристик сдвигоустойчивости щебёночно-мастичных асфальтобетонов. Определены характеристики щебёночно-мастичного асфальтобетона вида ЦМА-10, ЦМА-15, ЦМА-20. Показано, что наилучшей сдвигоустойчивостью обладает асфальтобетон типа ЦМА-20.

*Юдин, Д. А.* Применение методов распознавания изображений в системе мониторинга вращающейся керамзитовой печи / Д.А. Юдин, В. З. Магергут // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч.2. – С. 203-207.

Разработан метод распознавания изображений, основанный на математическом аппарате самоорганизующихся карт и аппарате нечеткой логики, для решения проблемы создания математического и программного обеспечения системы мониторинга процессов во вращающейся керамзитовой печи.

*Юрьев, А. Г.* Расположение материала в оптимальной конструкции / А. Г. Юрьев, Н. А. Смоляго, А. А. Толбатов, О. А. Яковлев // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 2. – С. 208-211.

Оптимальность конструкции зависит не только от рациональной формы, но и от расположения материалов. Его позиции в идеале должны соответствовать внутренним силовым линиям. Приведено сопоставление оптимальных инженерных решений с природными конструкциями.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Лесовик Р.В., Клюев С.В.</b> Расчет усиления железобетонных колонн углеродной тканью .....	3
<b>Магергут В.З., Игнатенко В.А.</b> Идентификация параметров аperiodического звена по характеристикам двух точек фрагмента кривой разгона.....	6
<b>Марков Д.В., Ерофеев М.Н.</b> Повышение эффективности системы транспортно-складского оборудования при производстве бетонорастворных смесей .....	9
<b>Моргун Л.В., Смирнова П.В., Костыленко К.И., Пушенко О.В., Моргун В.Н., Богатина А.Ю.</b> Номенклатура изделий из фибропенобетона .....	14
<b>Морозовский А.А.</b> Рециклинг в сфере транспортного машиностроения.....	20
<b>Набоков Р.А., Рубанов В.Г.</b> Преобразователь напряжения для создания температурного поля при выращивании кристаллов сапфира с устройством демпфирования хаотических колебаний .....	25
<b>Недоносков А.Б., Гузенок С.А., Волков В.В.</b> Методика определения параметров асфальтобетонного покрытия при СВЧ-нагреве.....	30
<b>Несмеянов Н.П., Горшков П.С.</b> Рациональный подход к смешению сыпучих материалов в противоточном спирально-лопастном смесителе.....	33
<b>Никонов А.С., Панов Ю.Т.</b> Теплоизоляционный материал пониженной плотности на основе отходов стекольной промышленности.....	36
<b>Никулин Н.Ю., Кушев Л.А., Пакки В.И., Алифанова А.И.</b> Современная схема очистки биогаза от твердых и газообразных примесей.....	41
<b>Октябрь М.М.</b> Современное состояние теории расчета и степени изученности реальной работы подпорных стен .....	46
<b>Октябрь М.М.</b> К уточнению классификации подпорных стен .....	52
<b>Панченко Л.А.</b> Эффект стеклопластиковой обоемы в трубобетоне..	57
<b>Подольский В.П., Волков В.В.</b> Оценка эксплуатационного состояния дорожной конструкции на всех этапах её жизненного цикла.....	63
<b>Попов А.Н., Шашков И.Г.</b> Методика оценки технического состояния жестких аэродромных покрытий с позиции теории риска.	68

<b>Порхало В.А., Рубанов В.Г.</b> Проектирование каскадной системы управления печью обжига клинкера .....	74
<b>Потапенко А.Н., Сибирцева Н.Б., Черкашин Н.В.</b> Возможности математического моделирования процессов в централизованных системах маслосмазки мельниц .....	78
<b>Потапенко Т.А.</b> Возможности математического моделирования молниеприёмников технологических объектов с учётом их системы мониторинга .....	83
<b>Прохорова Е.В.</b> Проблемы эффективного использования многофункциональных машин в строительстве .....	88
<b>Романова Е.В., Матвиенко Ф.В., Волков В.В.</b> Определение методом частиц характеристик транспортного воздействия на покрытие внутриквартальных дорог .....	93
<b>Романова Е.В., Матвиенко Ф.В., Волков В.В., Подольский В.П.</b> Технология определения стойкости к износу асфальтобетонного покрытия при воздействии транспортного потока .....	98
<b>Сердюкова А.А.</b> Противоморозные добавки: критерии технологической и технической эффективности. Обеспечение долговечности железобетонных конструкций .....	103
<b>Сиваченко Л.А.</b> Пути развития современного технологического машиностроения .....	111
<b>Синица Г.Н., Волков В.В.</b> Моделирование изменения реологических свойств многослойного ленточного герметизирующего материала, уложенного в швы цементобетонного покрытия .....	119
<b>Slawomir Heller, Горшкова Н.Г., Короткова А.О., Морозова Ю.С.</b> Опыт обследования и мониторинг состояния автомобильных дорог в Германии .....	123
<b>Соколов И.В.</b> Применение теории фракталов в вопросах управления техническим состоянием строительных машин и оборудования .....	129
<b>Тарасюк П.Н., Трубаев П.А.</b> Техничко-экономическая модернизация муниципальных котельных .....	134
<b>Траутвайн А.И.</b> Образование активных центров при помолу минеральных материалов в различных мельницах и их влияние на взаимодействие в контактной зоне .....	139
<b>Уваров В.А.</b> Основные направления инновационного развития машин и оборудования для ПСМ .....	144
<b>Уварова Ю.С.</b> Синтез наноструктур в уплотнительных материалах узлов транспортных и технологических машин .....	159

<b>Украинский В.А., Трубаев П.А.</b> Использование пакетов численного моделирования для исследования тепло-массообменных игазодинамических процессов .....	164
<b>Украинский В.А., Трубаев П.А., Гришко Б.М.</b> Экспериментальное исследование теплообмена при принудительной фильтрации воздуха через слой клинкерных гранул .....	168
<b>Федоренко В.Ю., Нигъматуллин М.М., Боровиков Г.Г., Крутин С.В.</b> Селективный материал для временной кольматации призабойной зоны пласта .....	171
<b>Федоров М.Ю., Кузнецов Д.А.</b> Влияние пористых дисперсных наполнителей на асфальтовяжущее .....	174
<b>Черкасов В.Г., Котлярский Э.В.</b> Оптимизация отряда машин для эффективного уплотнения асфальтобетонных смесей .....	178
<b>Шевцова, А.Г., Боровской А.Е., Остапко А.С.</b> Методика выбора рационального режима работы светофорного объекта .....	189
<b>Шухов В.И., Тоболенко С.С.</b> Сдвигоустойчивость щебёночно-мастичных асфальтобетонов .....	197
<b>Юдин Д.А.</b> Применение методов распознавания изображений в системе мониторинга вращающейся керамзитовой печи .....	203
<b>Юрьев А.Г., Смоляго Н.А., Толбатов А.А., Яковлев О.А.</b> Расположение материала в оптимальной конструкции .....	208
<b>Ядыкина В.В., Епрынцева В.В., Высоцкая М.А.</b> Влияние фосфогипса на физико-механические характеристики асфальтобетона .....	212

