

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

**Агеев С.М., канд. техн. наук, доцент,
Зейниев Г.Я., гл. инженер**

*Военно-технический институт при Спецстрое России,
ФГУП «УСС № 35 при Спецстрое России»*

Процесс строительства технически сложных, уникальных объектов [2 ст. 4.1]: космодромов, атомных станций, причальных сооружений и других объектов – имеют свои особенности. К ним относятся:

- применение инновационных уникальных технологий;
- удаленность строительных площадок от населенных пунктов и управления строительства;
- наличие большого количества устанавливаемого технологического оборудования и специальных систем;
- участие в строительстве большого числа субподрядных организаций.

Все выше перечисленные особенности должны быть учтены при проектировании системы управления процессом строительства.

Решение вопросов, связанных с вышеперечисленными особенностями строительства уникальных сооружений, может быть реализовано на основе совершенствования управленческой структуры строительной организации. Рассмотрим традиционную структуру управления строительством как среду, обеспечивающую непосредственное управление строительством объектов, с одной стороны, и обладающую достаточной юридической и финансовой самостоятельностью для совершенствования внутренней системы управления, с другой стороны.

Недостатком традиционной трёхзвенной структуры управления строительной организации, является недостаточная оперативность решений задач, постоянно возникающих в ходе создания уникальных сооружений.

Задачи управления, возникающие в ходе строительства уникальных объектов, по сравнению с задачами, решаемыми при строительстве традиционных объектов, отличаются своей сложностью, которая определяется уникальными инновационными технологиями и техническими решениями.

Оперативность и качество решения задач, возникающих в ходе строительства уникальных сооружений, обеспечивается структурой управления строительной организации. Систему функционирования предприятия обычно представляют как совокупность управляемой и управляющей подсистемы [4 с.7].

Под управлением в строительстве понимается процесс воздействия со стороны управляющей системы (управление, штаб) на управляемую систему (участки, службы, отделы) с целью:

- качественного выполнения работ;
- выполнения работ в установленные сроки;
- минимизации затрат.

Таким образом, для достижения выше указанных целей необходимо совершенствование структуры управления строительной организации. Совершенствование структуры управления строительной организации может быть выполнено за счёт создания дополнительного штата управления и приближения его непосредственно к строительной площадке. Создание приобъектной управленческой структуры позволяет сократить звенность управления и повысить оперативность решения задач управления. Такой способ совершенствования управления, с одной стороны, приведет к увеличению затрат на содержание дополнительного штата управления, а, с другой стороны, к уменьшению потерь строительного управления за счёт вынужденных остановок строительного производства и срыва планов строительства по причине не своевременного решения задач, возникающих в ходе строительства (срывов графика строительства).

Обоснование объёма финансирования дополнительного штата управления может быть выполнено на основе решения задачи теории массового обслуживания [3], при ниже перечисленных допущениях. Возникающие задачи, связанные с недостаточно подготовленными проектными решениями и технологиями, согласованием между собой составных частей проекта, внедрением инновационных технологий, рассматриваются как входящий поток заявок, распределённый по закону Пуассона.

$$P_m(n) = \frac{\lambda^m e^{-\lambda t}}{m!}$$

где: λ – интенсивность поступления заявок;

$P_m(n)$ – вероятность появления исследуемого события (появление вопросов (заявок), требующих разрешения);

m – количество поступающих заявок за время t .

Вероятность рассмотрения и принятия решения за время t , по возникшей производственной задаче, подчинена показательному (экспоненциальному) распределению

$$P(\mu) = 1 - e^{-\mu t} \quad (1)$$

μ – интенсивность обслуживания заявки (количество принятых решений по возникшим производственным задачам в единицу времени).

Описанный поток является потоком Эрланга [3].

При принятых допущениях, потери строительной организации на содержание дополнительного штата управления C_2 и потери, связанные с вынужденным простоем и срывом плана выполнения работ C_1 , будут составлять:

$$L = C_1 \cdot \bar{\tau} + C_2 \mu \quad (2)$$

$$\bar{\tau} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

- среднее время выработки решения по одной задаче (время рассмотрения одной заявки с момента её поступления) [1 с.210].

Для определения оптимальных затрат на дополнительный штат управления C_2 необходимо минимизировать функцию L , которая учитывает потери строительной организации от простоев и затраты на содержание дополнительного управленческого формирования на объекте строительства.

Для минимизации функции L необходимо определить входящие в неё величины.

Убытки от простоев и срыва плана строительства C_1 , интенсивность возникновения задач λ , требующих решения (интенсивность поступления заявок), интенсивность принятия решений μ , по возникшим задачам (интенсивность обслуживания заявок), - определяются за достаточно длительный срок (год, полугодие, квартал), а затем вычисляются в среднем за расчётный период времени (смена, сутки, неделя).

Расходы на содержание дополнительного приобъектного штата C_{2i} , в зависимости от его состава N_i , численностью i , рассчитываются с учётом всех затрат, включающих: зарплату, содержание помещений, оргтехники, транспорта.

Определение минимального значения L_{\min} и оптимальной численности приобъектного управленческого формирования $N_{\text{опт}}$ удобно выполнять в табличной форме.

Подставляя значения μ , λ , C_{1i} и C_{2i} в выражение 2, вычисляем значения L_i для каждой штатной численности N_i и результат заносим в таблицу 1. Затем, определяем минимальное значение $L_{1\min}$ и соответствующую ему оптимальную численность дополнительного приобъектного управленческого формирования $N_{\text{опт}}$.

В таблице приведены вычисления для условия, при котором количество возникающих задач (поступающих заявок) в смену

$\lambda = 0,2 \frac{\text{заявок}}{\text{смену}}$, а потери от простоев составляют

$C_1 = 200 \frac{\text{тыс.рублей}}{\text{смену}} \cdot \frac{\text{заявку}}{\text{смену}}$. Значения C_2 , μ , τ для различной

численности приобъектного управленческого формирования определяются на основе расчётов с учётом конкретных производственных особенностей, характерных для условий строительства конкретного уникального объекта с применением уникальных технологий.

Анализ результатов представленных в таблице показывает, что потери строительной организации, вызванные необходимостью решения оперативных производственных задач, с увеличением численности дополнительного управленческого формирования до 7 человек уменьшаются. При составе формирования 7 человек они минимальны, затем, по мере увеличения численности формирования, потери строительной организации возрастают. Таким образом, для приведенных условий получена оптимальная численность приобъектного формирования, которая составляет 7 человек.

Таблица № 1 – Определение оптимального значения численности дополнительного приобъектного управленческого формирования.

N	C_2	μ	$\bar{\tau}$	C_1	λ	$C_1 \cdot \bar{\tau}$	$C_2 \cdot \mu$	L
чел	$\frac{\text{тыс.руб}}{\text{смену}} \cdot \frac{\text{заявка}}{\text{заявку}} \cdot \frac{\text{смену}}{\text{смену}}$	$\frac{\text{заявка}}{\text{смену}}$	$\frac{\text{смен}}{\text{заявку}}$	$\frac{\text{тыс.р}}{\text{смену}} \cdot \frac{\text{смену}}{\text{смену}} \cdot \frac{\text{смену}}{\text{заяв}}$	$\frac{\text{заявка}}{\text{смену}}$	$\frac{\text{тыч.руб}}{\text{смену}}$	$\frac{\text{тыч.руб}}{\text{смену}}$	$\frac{\text{тыч.руб}}{\text{смену}}$
1	100	0,3	10	200	0,2	2000	30	2030
2	120	0,4	5	200	0,2	1000	48	1048
3	140	0,5	3,33	200	0,2	666	60	726
4	160	0,6	2,5	200	0,2	500	96	596
5	180	0,7	2	200	0,2	400	126	526
6	200	0,8	1,66	200	0,2	332	160	492
7	220	0,9	1,43	200	0,2	283	198	481
8	240	1,0	1,25	200	0,2	250	240	490
9	260	1,1	1,11	200	0,2	222	286	508
10	280	1,2	1	200	0,2	200	336	536

Следует отметить, что оптимальный состав приобъектного управленческого формирования в ходе строительства уникальных объектов может меняться, т.к. поступающее количество задач (заявок), требующих решений с учетом длительных сроков строительства, различно. Наибольшее количество оперативных задач возникает на начальном этапе строительства, затем, при сдаче помещений под монтаж технического и технологического оборудования, а также на этапе завершения строительства и передачи объекта в эксплуатацию. На эти периоды, по выше представленной методике, может быть определена и соответствующая оптимальная численность приобъектной управленческой структуры.

Список литературы:

1. *Викулов, С. Ф.* Военно-экономический анализ / С.Ф. Викулов, Г.П. Жуков, В.Н. Ткачѐв, В.Я. Ушаков / Под ред. С.Ф. Викулова. – М.: Военное издательство, 2001. –351с.
2. Градостроительный кодекс РФ. ФЗ № 190-ФЗ от 29.12.2004 г. (ст. 4.1 в ред. Федеральных законов № 232-ФЗ от 18.12.2006 г.).
3. *Саати, Т. Л.* Элементы теории массового обслуживания и её приложения / Т.Л. Саати. – М.: Советское радио, 1971. - 520с.
4. *Хайбаев, В. А.* Научно-практические основы управления оборонно-промышленным комплексом. Проблемы и направления развития: монография / В.А. Хайбаев. – Самара: Самарская государственная академия путей сообщения, 2006. – 306с.

ТЕНДЕНЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАБИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ОСНОВАНИЯХ АЭРОДРОМОВ И СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ

Аксененко П.Ю.,

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

Военный авиационный инженерный университет

В последнее десятилетие одним из альтернативных способов решения задач по развитию транспортных сетей в условиях, неблагоприятных с точки зрения устойчивости оснований, является использование матрацев Рено или габионов. С их помощью в сжатые сроки возводятся подпорные стенки, высокие насыпи дорог, мостов и других транспортных сооружений на участках грунтов с неустойчивыми, переувлажненными и пучинистыми грунтами [1].

Габионы с успехом используются при устройстве армогрунтовых конструкций, укреплении и стабилизации грунтов, армировании дорожного полотна, реализации различных биоинженерных решений.

Для наполнения габионов используется каменный материал с физико-механическими характеристиками, соответствующими функциональным требованиям, и обеспечивающими заданный срок службы сооружения. Для обеспечения наиболее плотной упаковки используют различные фракции каменного материала, при этом крупные фракции выкладываются по периметру короба, а мелкие закладываются внутрь.

Мероприятия по отводу влаги из аэродромных оснований трудоемки и требуют значительных материальных затрат. В связи с этим указанные мероприятия применяются только при надлежащем технико-экономическом обосновании, тщательном анализе инженерно-геологической и гидрогеологической обстановки.

Высокая проницаемость габионных конструкций уменьшает гидростатические нагрузки на всю конструкцию и тем самым увеличивает ее надежность. Подошва конструкции практически не подвержена размыву и суффозии грунта. Вместе с тем, высокая пропускная способность габионов порождает серьезную проблему, связанную с заиливанием пустот наносным материалом. С одной стороны, наносные частицы, аккумулируясь в пустотах габиона, исполняют роль связующего, способствуя повышению его прочностных свойств. С другой – эти же частицы, при увлажнении, выступают как

смазка, снижая сцепление каменного материала и соответственно устойчивость габиона в целом.

Количество наносного материала в пустотах габиона может достигать до 10 % по объему, причем наиболее заиленными оказываются нижние слои, содержащие крупные фракции камня.

Длительная эксплуатация габионов в сложных гидрогеологических условиях показывает, что с течением времени происходит уменьшение эффективного сечения дренажа габиона.

Обобщенные результаты проведенных нами во II дорожно-климатическом районе длительных исследований в указанном направлении, приведены на рис. 1.

Установлено, что большинство габионов после 4...5 лет эксплуатации заиливаются и заполняются обломочным материалом, что приводит к переупаковке наполнителя и смещению центра тяжести конструкции.

Наличие диффузионных процессов, переход температуры окружающего воздуха и всей конструкции через 0°С определяют неоднозначность реакции габиона на внешнее воздействие и трудность прогнозирования его надежности в аэродромной конструкции.

Определение эксплуатационного состояния отдельно взятого габиона и габионной конструкции в целом является трудоемкой задачей, которая в настоящее время заключается только во внешнем осмотре конструкции. Сезонность осмотров снижает достоверность полученных данных о надежности возведенной конструкции. А определение таких параметров как связанность каменного материала, степень заиленности, возможно лишь при извлечении габиона из конструкции. Отсутствие ранней диагностики эксплуатационного состояния габионной конструкции и несвоевременное принятие мер по восстановлению ее работоспособности может привести к аварийному режиму работы дорожных сооружений.

Рассмотрены конструкции фильтрующих слоев каменной наброски и габионной кладки.

Фильтрационный расход через тело слоя определяется по следующим формулам:

- для слоев из каменной наброски,

$$Q_{\phi} = \omega \times k_{\phi} \times \sqrt{J} ,$$

- для слоев из каменной наброски с донным водосбросом,

$$Q_{\phi} = \omega \times k_{\phi} \times \sqrt{J} + \mu \omega \sqrt{2gH} ,$$

- для слоев из габионной кладки,

$$Q_{\phi} = \omega \times k_{\phi}^{\text{габиона}} \times \sqrt{J},$$

где Q_{ϕ} - общий фильтрационный расход; ω - средняя площадь продольного сечения, через которую идет фильтрация; $k_{\phi}^{\text{габиона}}$ - коэффициент фильтрации габиона; k_{ϕ} - коэффициент фильтрации каменной наброски; J - градиент напора; μ - коэффициент расхода водопропускной трубы; H - напор.

В настоящей работе выполнены исследования по уточнению величины коэффициента фильтрации габиона $k_{\phi}^{\text{габиона}}$ и режима фильтрации в габионных конструкциях.

В рамках исследования поставлен эксперимент по гидравлическому моделированию слоя из габионной кладки. Как известно, для достижения динамического подобия моделируемого гидравлического явления в лабораторных условиях необходимо достигнуть равенства двух условий: $(Re)_m = (Re)_n$ (равенство чисел Рейнольдса) и $(Fr)_m = (Fr)_n$ (равенство чисел Фруда). Это в лабораторных условиях практически невозможно. На практике, в случае безнапорных турбулентных потоков, отвечающих квадратичной области сопротивления, исходят из числа Фруда, считая, что такое движение обуславливается только силами тяжести. Эта область параметров потока, когда движение жидкости не зависит от числа Рейнольдса, называется автомодельной в отношении чисел Рейнольдса.

Согласно нормативно-техническим документам (в частности ВСН-АПК 2.30.05.001-2003) и характеристикам выпускаемых в настоящее время габионных конструкций максимальный диаметр камня, применяемого в качестве заполнителя тела габиона, равен 250 мм. Поэтому, используя в качестве заполнителя лабораторной установки щебня фракции от 10 до 50 мм, получается модель габионной кладки в масштабе 1:5.

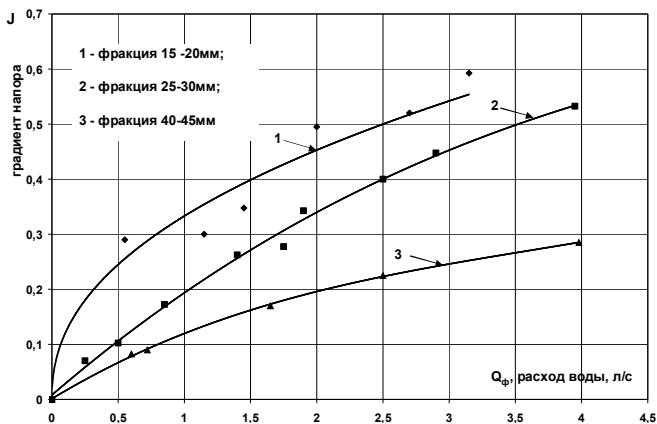


Рисунок 1 - Зависимость градиента напора J от диаметра фракций щебня d и фильтрационного расхода воды Q_{ϕ}

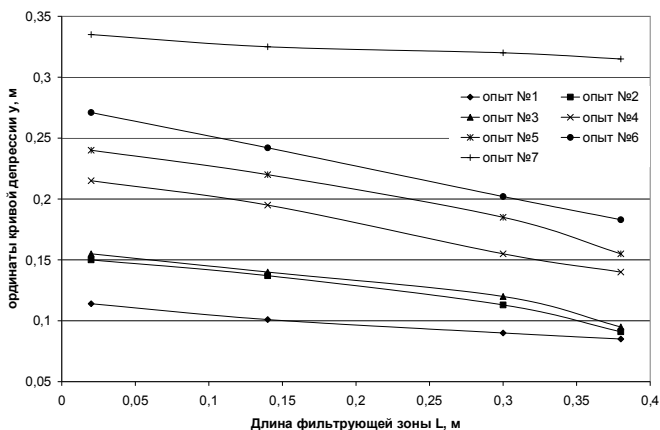


Рисунок 2 - Экспериментальные кривые депрессии диаметр фракции 15-25мм

По результатам экспериментальных данных были определены значения коэффициентов фильтрации и сопротивления габiona при различной крупности заполнителя (таблица).

В результате выполненного лабораторного исследования получены зависимости градиента напора от расхода фильтрации при различных фракциях щебня (рис. 2) и экспериментальные кривые депрессии (рис. 3, 4).

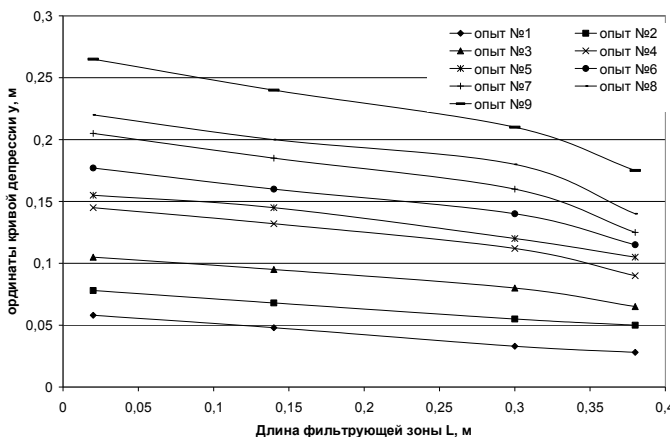


Рисунок 3 - Экспериментальные кривые депрессии диаметр фракции 25-35мм

Таблица
Значение коэффициентов фильтрации k_f и коэффициентов сопротивления ζ в зависимости от крупности заполнителя габиона $D_{\text{эф}}$.

$D_{\text{эф}}$, м	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
k_f , м/с	0,084	0,152	0,200	0,266	0,323
ζ	53	39,2	28,9	22,53	18,77

По результатам исследования были получены эмпирические формулы, которые могут использоваться при анализе фильтрационного режима при строительстве и эксплуатации габионных сооружений.

Список литературы:

1. *Перевозников, Б. Ф.* Научно-технический обзор методов расчета и проектирования дорожно-мостовых габионных конструкций и сооружений: рукопись / Б.Ф. Перевозников.– М.: Союздорпроект, 2000. - 126 с.
2. *Замышляев, Б. В.* Модели динамического деформирования и разрушения грунтовых сред / Б.В. Замышляев, Л.С. Евгерев. – М.: Наука, 1990. – 215 с.

ТЕРМОПАРОАБРАЗИВОСТРУЙНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Амелин С.С., адъюнкт

Военно-технический университет при Спецстрое России

Современное строительство является высокомеханизированным производством, характеризующимся наличием большого количества разных типов строительных машин, механического и технологического оборудования, применяемых для строительства и восстановления не только объектов промышленного и гражданского назначения, но и объектов специального назначения.

Основная задача, поставленная в настоящее время строительным организациям, – обеспечение выполнения директивных объемов работ в планируемые сроки – может быть осуществлена только при наличии в парке техники высокопроизводительных, универсальных средств механизации, способных выполнять задачи по возведению, восстановлению и ремонту строительных объектов в мирное и военное время.

При всем многообразии существующих средств механизации в строительных организациях вопрос об их оснащении эффективными средствами очистки поверхностей различных материалов при возведении и восстановлении объектов остается открытым. Частичное решение данного вопроса возможно при оснащении строительных организаций ручным термопароабразивоструйным инструментом (РТПАИ), а также разработке и совершенствовании существующих средств и инструментов для очистки поверхностей.

Технология возведения монолитных сооружений, изготовления железобетонных изделий на предприятиях по производству железобетонных изделий предусматривает применение как горизонтальной, так и вертикальной опалубки, горизонтальное формование на конвейерной линии, вертикальное формование в кассетных установках, формование в стендовых неподвижных формах и формование в формах специального назначения. Требования предъявляемые к качеству поверхностей формируемых изделий должны соответствовать категориям А2, А3, А4 нормативного документа ГОСТ13015-2003. В процессе формования на зеркало поверхностей разделительных листов и тепловых рубашек происходит налипание цементной пленки. Слой налипания цементной пленки увеличивается с каждым оборотом, что сказывается на качестве поверхностей формируемой продукции.

Согласно технологии кассетного производства, цикл работ на кассетных установках предусматривает после каждой распалубки профилактическую чистку разделительных листов и тепловых рубашек, а через 10-30 оборотов - тщательную механическую очистку.

Мероприятия технической эксплуатации зданий и сооружений.

Современные промышленные здания являются сложными инженерными сооружениями. Для поддержания их в работоспособном состоянии требуются определенные затраты на техническое обслуживание и ремонты.

Особенно это относится к "открытым" и "полуоткрытым" технологическим процессам, сопровождающимся агрессивными для строительных конструкций выделениями из раскрытых емкостей.

В отличие от производственного оборудования, строительные конструкции в значительно меньшей мере подвержены моральному износу, поэтому обеспечение их долговечности предупреждением преждевременного физического износа имеет важнейшее народнохозяйственное значение. Опыт показывает, что профилактические мероприятия в десятки раз дешевле и проще, чем восстановление или замена преждевременно вышедшей из строя конструкции в условиях действующего производства.

Любое здание возводится с таким расчетом, чтобы в нем в течение заданного срока службы сохранялись все параметры, предусмотренные проектом.

Свойство зданий сохранять заложенные в них параметры в определенных пределах называется надежностью зданий.

Надежность зданий в процессе технической эксплуатации поддерживается путем своевременного возобновления защитных покрытий, замены или усиления ослабленных элементов и т.д.

Нормативный срок службы зданий, эксплуатирующихся в нормальных условиях, обычно составляет 60 - 100 лет, а зданий, строительные конструкции которых подвергаются воздействию агрессивных сред, - 30 - 45 лет. В действительности же промышленные здания нередко изнашиваются на 10 - 20 лет раньше нормативного срока.

Опыт показывает, что в нормальных эксплуатационных условиях большинство конструкций за установленный срок службы не исчерпывают физико-механических качеств материалов и поэтому они не полностью характеризуют долговечность зданий. Нормативные сроки службы являются в значительной степени условными.

Надежность зданий в процессе технической эксплуатации повышается путем своевременного обновления защитных покрытий, замены или усиления ослабленных элементов и т.п.

Правильная эксплуатация зданий и сооружений состоит в предупреждении преждевременного износа профилактическими мерами, в оценке степени износа, своевременном устранении повреждений, замене изношенных конструкций, т.е. возмещения износа. Структура технического обслуживания и ремонта зданий и сооружений представлена на рис. 1.

На преждевременный износ зданий и сооружений оказывает влияние неудовлетворительный уход за ними, нарушение правил технологической и технической эксплуатации.

Одной из главных причин преждевременного износа строительных конструкций большинства зданий и сооружений является коррозия стали, железобетона и загнивание древесины.



Рисунок 1 - Структурная схема ТО и Р зданий и сооружений

К внутренним или технологическим факторам относятся: повреждения конструкций от механических воздействий, перегрузка конструкций покрытия от пылевидных выносов, коррозия стальных и железобетонных конструкций, поражение деревянных конструкций грибом в результате нарушения температурно-влажностного режима помещений и т.д.

Проведенный анализ показал что, средний производственный возраст промышленных предприятий России превышает 30 лет и актуальность решения вопросов усиления и восстановления конструкций и оборудования и комплексной антикоррозионной защиты очевидна. После анализа причин аварий установлено, что на долю коррозии в элементах конструкций приходится более 50% от числа аварий на промышленных объектах.

С целью защиты от эрозии и коррозии широко применяются различные эрозионнотстойкие покрытия. Высокая долговечность и качества такого покрытия напрямую будут зависеть от нанесения его на хорошо очищенную и подготовленную поверхность.

Многолетний опыт производства и промышленной эксплуатации термоабразивного оборудования показал, что термоабразивный метод является наиболее эффективным для подготовки поверхностей. При таком способе подготовки происходит одновременная очистка, обезжиривание, обеспыливание, создание требуемой шероховатости, нагрев и активирование поверхности. После очистки с использованием термопароабразивной технологии поверхность становится равномерно шероховатой, обезжиренной, подогретой до температуры 50-60 град. и химически активной. Такие свойства поверхности обеспечивают высокую степень адгезии с наносимым на нее защитным покрытием.

Комбинированный термомеханический способ воздействия на очищаемые поверхности реализован в конструкции ручного термопароабразивоструйного инструмента представленного на рисунке 2, он основан на синтезе генератора высокотемпературного потока и конструкции эжектора для получения термомеханического потока (тепло + абразив + пар).

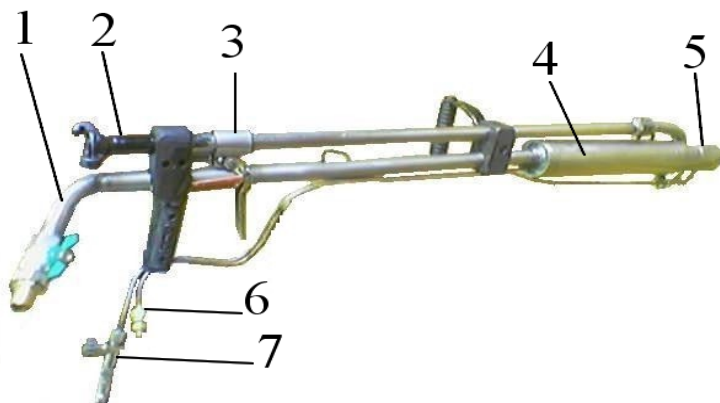


Рисунок 2 - Термопароабразивоструйный инструмент: 1 - канал подачи окислителя; 2 - канал подачи абразива; 3 - управляемая заслонка; 4 - камера сгорания; 5 - эжектор со встроенным паровым генератором; 6 - топливopровод; 7 - канал подачи воды

Термопароабразивная технология эффективна там, где традиционный метод пескоструйной обработки бессилён - очистка

многослойных лакокрасочных покрытий, включая покрытия на эпоксидной основе, маслянные и битумные загрязнения, затвердевшие и не затвердевшие нефтепродукты, гуммированные поверхности, металлизированные, полимерные покрытия и многие другие.

В конструкции инструмента, соединяющего емкость для хранения абразива с каналом подачи атмосферного воздуха, предусмотрена установка управляемой заслонки (3).

Оператор, управляя заслонкой, устанавливает виды потоков и количественное соотношение абразива и атмосферного воздуха в эжектируемом потоке, чем обеспечивается рациональный расход абразива.

В качестве абразива применяется сыпучий местный дорожно-строительный материал мелких фракций с размером зерна 0,3-3,25 мм в диаметре: песок, купрошлак, высевка, стеклянные шарики, отходы металлургической промышленности и др.

Возможности ТПАИ позволяют применять его и для нагрева металлических конструкции, при их правке и ремонте, разогревать жидкости в емкостях, производить очистку дорожных покрытий ото льда и слежавшегося снега, удалять наледи и измороси, старую краску, нефтяные и битумные загрязнения, обогреть здания и т.п.

Привод инструментов стремятся осуществлять либо от компрессорных станций, либо от систем силовых установок штатных транспортных машин, что расширяет возможности по использованию предлагаемого инструмента на удалении от стационарных источников и промышленных баз.

Список литературы:

1. *Кондрашев, Э. К.* Эрозионностойкие лакокрасочные покрытия [Текст] / Э.К. Кондрашев, В.Н. Владимирский, Э.Я. Бейдер. – М.: Химия, 1989. – 136 с.
2. *Абрамович, Г. Н.* Прикладная газовая динамика [Текст] / Г.Н. Абрамович. – М.: Наука, 1969. – 824 с.
3. *Мозговой, И. В.* Антикоррозионная поверхностная обработка металлов: монография / И.В. Мозговой, А.А. Соловьев, Е.В. Шлякова; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Омский гос. технический ун-т", Омский танковый инженерный ин-т им. П.К. Кошерева. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006.

ТЕХНОЛОГИИ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Афонин В.Г., ассистент

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

Для обеспечения соответствующего уровня надежности, в качестве нормируемого показателя долговечности машин назначается ее ресурс. В особых случаях, когда машина используется эпизодически или предназначена для работы в экстремальных ситуациях, вместо ресурсных показателей задается средний срок службы в годах эксплуатации до предельного состояния. Однако вне зависимости от того, какой показатель долговечности является нормируемым, при проведении расчетов определяются значения, как среднего, так и гамма-процентного ресурса (срока службы).

Терминологически ресурс определяется как - установленная в натуральных показателях (циклах, километрах и др.) проектировщиком (изготовителем) суммарная наработка машины, оборудования от начала их эксплуатации до прогнозируемого перехода в предельное состояние. Соответственно, оценочным показателем ресурса является суммарной наработкой машины, оборудования в целом. Обеспечивать данную наработку изготовитель планирует надежностью конструкции, с определенной долей вероятности (для специальной техники – 80 %). Надежность в свою очередь гарантирует безотказную работу машины, оборудования при соблюдении соответствующих условий, изложенных в технической документации, в виде параметров, показателей и прочего.

При проектировании машин обосновываются требования ко всем нормируемым показателям надежности. Для показателей долговечности следует учитывать результаты расчетов требований к ресурсам машины и ее составных частей. Целями этих расчетов являются:

- согласование нормируемого уровня ресурса машины с данными по ее возможной загрузке в течение года и заданными амортизационными сроками службы;
- обоснование требований к долговечности базовых комплектующих изделий;
- задание требований к ресурсу проектируемых составных частей для обеспечения нормируемого значения ресурса машины в целом;

- формирование системы обслуживания и ремонта или части работ, связанных с ремонтом или заменой составных частей, имеющих по условиям проектирования ограниченный ресурс.

Исследование технической системы «машина – оборудование» (*машина* – ряд взаимосвязанных частей или узлов, из которых хотя бы одна часть или один узел движется с помощью соответствующих приводов, цепей управления, источников энергии и т.п., объединенных вместе для конкретного применения (обработки, переработки, перемещения или упаковки материала и пр.); *оборудование* – техническое устройство, применяемое самостоятельно или устанавливаемое на машину и необходимое для выполнения основных или дополнительных (вспомогательных) функций, а также для объединения машин в технологический комплекс [1]) позволяет отметить, что обеспечение надежности системы в целом крайне проблематично. Отчасти это определило развитие нескольких научных направлений по теории надежности и работоспособности систем, их развитию посвятили свои работы различные ученые, но до настоящего времени проблема обеспечения соответствующего уровня надежности и его поддержание во всем эксплуатационном цикле машины остается актуальной.

На стадии эксплуатации жизненного цикла машины, определенного сроком службы, изменение технического состояния машины из-за временного фактора может быть минимизировано, но не остановлено. Анализ установленных требований по величине амортизационного срока службы показывает, что в среднем этот показатель для коммунальных машин варьирует в пределах 7...12 лет [1].

Минимизация влияния временного фактора обеспечивается системой технического обслуживания и ремонта, которая в настоящее время достаточно проработана на нормативном и технологическом уровне, позволяет поддерживать ресурсные показатели в соответствии с техническими требованиями, заложенными производителем.

Разработанные и внедренные в производственную практику ремонтных предприятий способы восстановления позволяют не только на 100% восстановить свойства изношенных поверхностей деталей, но иногда и повысить значения показателей свойств по сравнению с исходными за счет применения новых технологий и материалов.

Т.к. целью ремонтных воздействий является поддержание или восстановление ресурса (увеличение стадии эксплуатации жизненного цикла машины), то подобные действия можно характеризовать как ресурсную модернизацию, направленную на минимизацию влияния

временного фактора и поддержание заложенного уровня качества машины.

Последовательность работ по расчету требований к долговечности, а так же качественное и количественное обоснование ресурсной модернизации включает:

- расчет ресурсных показателей машины;
- построение структурных схем надежности машины и ее составных частей и задание вероятностей недостижения ими предельного состояния в течение определенной наработки;
- расчет требований к ресурсным показателям составных частей и оценку наработки машины на замены (восстановления) конкретной составной части [1].

Для специальной техники предельное состояние базовой машины характеризуется следующим критерием – одновременное или последовательное достижение предельного состояния любыми двумя основными частями из числа следующих: двигатель, коробка передач, ведущий мост, рама тягача.

Общеизвестно, что элементные группы машины содержат детали, заменяемые по конструктивным и технологическим причинам совместно. С позиций лучшего использования ресурсов деталей их следует заменять только при отказе, что позволит обеспечить общее удовлетворительное функционирование и долговечность агрегатов. Такие групповые замены определяет завод-изготовитель, их называют регламентированными. К ним относятся замены после определенной наработки – назначенного ресурса. Он определяется требуемой вероятностью безотказной работы конструктивного элемента, обеспечивающего безопасность. Часто объединяются в группы совместных замен детали, расположенные во внутренних полостях агрегатов и недостаточно долговечные, т.е. лимитирующие безотказность.

Следует добавить, что на условия, обеспечивающие безотказную работу как группы деталей, так агрегата и машины в целом существенное влияние оказывают нагрузочные эксплуатационные режимы [2].

В качестве вывода можно предположить, что используемые показатели оценки ресурсосбережения специальной техники не приемлют усредненности, а требуют фактических значений, определяемых на основе разработанных программных комплексов, обеспечивающих их мониторинг на стадии эксплуатации жизненного цикла машины.

Список литературы:

1. *Шейнин, А. М.* Эксплуатация дорожных машин / А.М. Шейнин, Б.И. Филиппов, В.А. Зорин. – М.: Транспорт, 1992. – 328 с.
2. Российская энциклопедия самоходной техники. Справочное и учебное пособие для специалистов отрасли «Самоходные машины и механизмы». Т.1, 2 / Под. ред. Зорин В.А. – М.: Просвещение, 2001. – 892 с.

НЕЧЕТКИЕ ДИАГРАММЫ ПОВЕДЕНИЯ УЗЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧЬЮ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

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

Нечеткие диаграммы поведения узлов объекта являются расширением теории детерминированных диаграмм поведения узлов [1] на класс объектов с режимами и состояниями, которые невозможно полностью описать классическими уравнениями баланса.

Такие объекты как вращающаяся печь для обжига цементного клинкера по мокрому способу, являются сложными, многосвязными и недетерминированными. Для управления ими в настоящее время не создано ни одной сколько-нибудь функционирующей реальной автоматизированной системы управления, кроме минимальных разрозненных с точки зрения системы управления локальных контуров, которые поддерживают некоторые величины на необходимом уровне, и основную работу здесь выполняют операторы.

Сложность данного объекта заключается в единой вытянутой по длине до 200 метров области регулирования множества физических величин с одним факелом, осуществляющим главную функцию термической обработки материала.

По сути, работа данной системы это многосвязная структура взаимодействия различных ее узлов, основанная на постоянном изменении технологических и рабочих условий не только во внешней среде объекта, но главным образом внутри него. Например, изменение температуры, которой управляем в одном сегменте печи и при помощи одних органов управления, является возмущающим фактором в другой и влияет на такие параметры как текучесть материала, скорость обработки и другое.

Рассмотрим узел нагрузки главного привода печи (ток, протекающий через обмотки двигателя), который является значимым с точки зрения автоматизации объекта управления – печи №1 ЗАО «Осколцемент» (рис. 1).

Как видно из структуры, на узел нагрузки на главный привод печи N воздействуют три основные величины: V – скорость вращения печи, $Q_{ш}$ – расход шлама в печь, $H_{ш}$ – высота шлама в печи (подразумевается:

зона декарбонизации, экзотермических реакций и начальная часть зоны спекания).

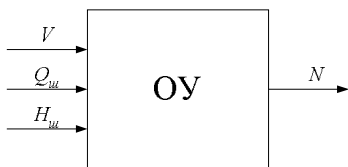


Рис. 1. Структура узла нагрузки на главный привод печи N

Разделим величины по нечетким градациям значений:

- 1) скорость вращения печи V , которую определяет скорость двигателя z_0 : $\overline{z_0}$ – привод остановлен, минимальная, низкая, средняя, $z_{0\ max}$ – максимальная;
- 2) процент открытия шиберов шлама $z_{ш}$ который определяет подачу шлама в печь $Q_{ш}$: $\overline{z_{ш}}$, приоткрыт, открыт средне, открыт сильно, $z_{ш\ max}$ – максимальный;
- 3) высота шлама в печи: H_0 – отсутствует, малая, средняя, высокая, H_{max} – максимальная;
- 4) нагрузка на двигатель (ток, протекающий через обмотки двигателя): N_0 – отсутствует, малая, средняя, высокая, N_{max} – максимальная.

Исходя из сложности процесса обработки нечетких параметров в диаграммах поведения, предлагается ограничить для данного этапа описание нечетких параметров, величин и технологических условий непересекающимися нечеткими множествами, имеющими точками соприкосновения, при условии отнесения этой точки к левому множеству. Кроме того, будем рассматривать изменение величины по режимам первого ранга [1]. На рис. 2, 3 представлены нечеткие градации и функции принадлежности для компонентов данной структуры.

В отличие от детерминированных диаграмм поведения узлов нечеткие диаграммы имеют размытые (нечеткие) статические точки для режимов, которые формируются нечеткими градациями.

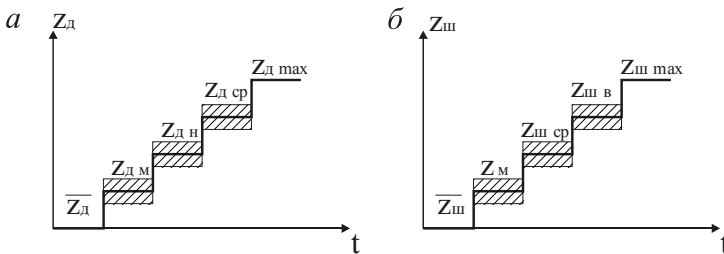


Рис. 2. Нечеткие градации по управляющим переменным для скорости двигателя z_d (а) и по открытию заслонки шлампровода $z_{ш}$ (б)

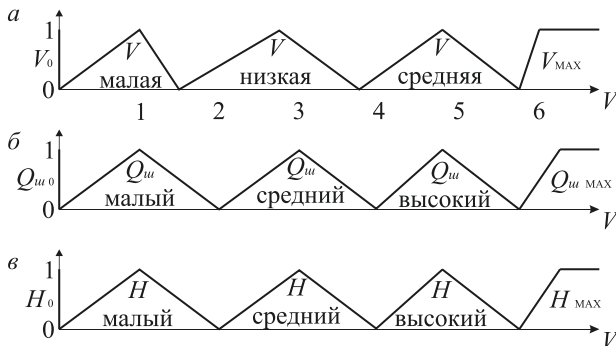


Рис. 3. Функции принадлежности для скорости вращения печи (а), расхода шлама в печь (б) и уровня материала в печи (в)

Наглядно область изменения выходной технологической величины узла можно представить в следующем виде (рис. 4).

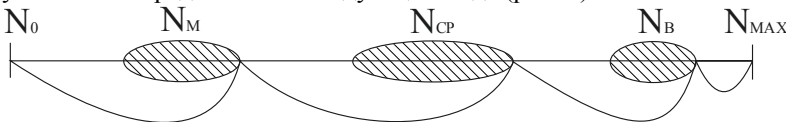


Рис. 4. Расположение нечетких статических областей на диапазоне величины нагрузки на главном приводе печи N

На рис. 4 приведены нечеткие статические области (включая граничные точки) на диапазоне изменения величины N , при этом статические области заштрихованы, а дуги, охватывающие последовательные отрезки показывают то, каким образом необходимо описывать изменение технологической величины при использовании диаграмм поведения. В нечеткой диаграмме поведения узлов переход от одного статического состояния к другому происходит через

динамические состояния, находящиеся на интервалах дуг по рис. 4. При этом точка окончания каждой дуги может перемещаться внутри заштрихованной области, к которой она примыкает.

Функция принадлежности для выходной технологической величины узла нагрузки на главный привод печи приведена на рис. 5. Данные функции также являются непересекающимися с точками соприкосновения, относящимися к левому нечеткому множеству.

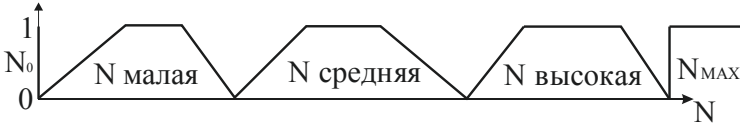


Рис. 5. Качественный вид функции принадлежности узла нагрузки на главный привод печи N

Создание технологической структуры узла и написание технологических условий не отличается от аналогичного в детерминированной диаграмме [1] с той разницей, что условия содержат нечеткие градации технологических величин. Технологическая структура узла N представлена на рис. 6.

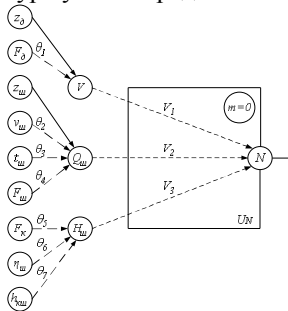


Рис. 6. Технологическая структура узла N цементной печи

Нечеткие диаграммы поведения узлов, которые предлагается использовать для создания алгоритма управления объектом, представляют собой ориентированные графы, вершины которых соответствуют режимам работы конкретно выбранного узла печи, качественно описывающих поведение соответствующих величин, как и в [1], и являются нечеткими или частично четкими по уровням своего изменения, а дуги, соединяющие вершины, помечены наборами правил изменения режимов от одного к другому и могут иметь в своей структуре логические и аналоговые четкие и нечеткие условия. В вершины графа вписывается условное обозначение, соответствующее

динамическому или статическому режиму и порядковый номер. При этом в центральной части диаграммы снизу вверх располагаются вершины в виде прямоугольников с возрастающими статическими режимами, а по бокам в виде овалов – с динамическими при переходе от одного статического к другому, причем с левой стороны располагаются возрастающие динамические режимы для данного узла, а справа – убывающие. Дуги соединяют только те вершины, в которые и/или из которых может произойти переход. Нечеткая диаграмма поведения узла N представлена на рис. 7.

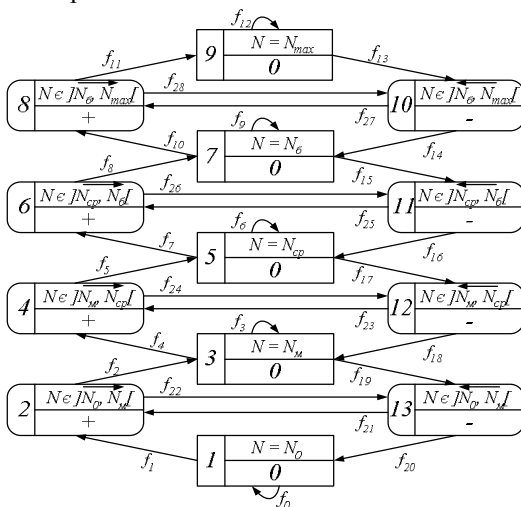


Рис. 7. Нечеткая диаграмма поведения узла N

Переходы записываются в виде базы нечетких правил согласно теории управления на основе нечеткой логики для последующего моделирования в среде MatLAB.

В настоящий момент разработанный подход к построению автоматизированной системы управления печью проходит этап создания нечетких диаграмм поведения и для других узлов цементной печи ЗАО «Осколцемент».

Список литературы:

1. Магергут, В. 3. Построение моделей химико-технологических объектов (первичные и исходные модели) [Текст] : учеб. пособие / В.3. Магергут, С.А. Юдицкий, В.Л. Перов. – М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1988. – 80 с.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЖИДКИХ ОЛИГОДИЕНОВ

**Барабаш Д.Е., д-р техн. наук, профессор,
Чернухин С.П., инженер**

*Военный авиационный инженерный университет,
Воронежский государственный
архитектурно-строительный университет*

Стремительный рост производства полимеров, включая каучуки, обусловлен возрастающими потребностями современной промышленности в эффективных, долговечных материалах, обладающих рядом уникальных свойств, присущих только указанным материалам. Эти уникальные свойства способствуют тому, что полимерные композиции успешно вытесняют многие традиционные материалы: металлы, керамику, стекло, древесину. Прошедшие годы интенсивных исследований и технологических разработок в производстве полимерных материалов выявили новые возможности и определили границы эффективного применения полимеров [1].

Расширяющееся производство олигомеров, находящихся преимущественно в жидкой фазе, и потому весьма удобных в технологическом процессе, позволяет решить проблему проектирования эффективных композиций для нужд строительной отрасли. В число рекомендуемых характеристик для каучуковых связующих входят: заданная вязкость, способность к отверждению в достаточно широком диапазоне температур, минимальное содержание растворителя или полное его отсутствие, стойкость к воздействию атмосферных и эксплуатационных факторов, гарантированная надежность при длительной эксплуатации (высокая долговечность). Указанные свойства каучуков непосредственно зависят от их состава и строения. В целом проектирование эффективного композита на основе олигодиенов можно представить в виде последовательности определенных действий, направленных на достижение поставленной цели путем воздействия на структуру и состав исходного сырья. Особенности структурообразования определяют свойства каучуковых композитов. В свою очередь образование той или иной структуры сложным образом зависит не только от качественного и количественного состава композитов, но и от технологии их изготовления. Поэтому установление кинетических зависимостей структурообразования каучуковых

композиций и их связь с эксплуатационными характеристиками конечного продукта является важной научно-технологической задачей.

Свойства связующих зависят, прежде всего, от физико-химических характеристик олигомера, количества и химической природы отвердителя, либо отверждающей группы. Кроме того, свойства связующих регулируют введением различных модифицирующих добавок, способных коренным образом изменить базовые характеристики олигодиена. Особая роль в структурообразовании принадлежит наполнителям, поскольку частицы наполнителя являются активными центрами роста новообразований. Наиболее важными характеристиками наполнителей являются дисперсность, качество поверхности, pH показатель, поверхностная энергия (энергия Гиббса). Количество наполнителей или отношение полимер – наполнитель (n/n) и интенсивность физико-химического взаимодействия связующего и наполнителя определяющим образом влияют на характер структуры изделия. Кроме указанного параметра на изменение физико-механических характеристик каучуковых композиций влияет наличие дисперсного армирования и условия эксплуатации [2].

При проектировании композиций на основе модифицированных олигодиенов следует обращать пристальное внимание не только на компонентный состав, но и на технологию их приготовления. Придание специальных характеристик указанным композициям является весьма актуальной материаловедческой проблемой, связанной как со структурными исследованиями каучукового сырья, так и с целенаправленным регулированием синтеза, переработки, приготовления, а в некоторых случаях и эксплуатации изделий на основе олигодиенов. Все указанные выше процессы относятся к структурной или химической модификациям исходных олигомеров. Выбор приоритетного способа модификации основывается на экономической целесообразности.

В результате теоретического обобщения и экспериментального подтверждения нами создана целостная система выбора компонентов и технологии получения универсальных строительных материалов широкого спектра применения, на основе модифицированных олигодиенов, отверждаемых без дополнительных энергетических затрат. В основу разработанной системы положен принцип максимального соответствия природы (генезиса) исходных олигодиенов требуемым свойствам готового материала. Для целенаправленного улучшения исходных свойств связующего проводится химическая модификация привитием реакционно-способных групп,

обеспечивающих эти свойства. Эпоксидные группы придают способность к смешению, адгезию к различным подложкам, прочность при растяжении, ударную вязкость; гидроксильные – те же свойства и дополнительно влагостойкость, эластичность; карбоксильные – дополнительно к указанным теплостойкость, эластичность, морозостойкость. Выбор вида прививаемых групп обусловлен предполагаемыми условиями эксплуатации готового композита. Вид и количество наполняющих компонентов, а также их сочетание обусловлены рациональной областью использования композита. Технология применения композитов подбирается с учетом их компонентного состава, заданных вязкости и жизнеспособности.

Основой проектирования являются требования, предъявляемые к композициям на основе модифицированных олигодиенов согласно условиям эксплуатации. При выборе жидких олигодиенов, из числа имеющихся, руководствовались следующим: соответствие базовых характеристик олигодиенов свойствам проектируемого композита; оптимальное сочетание параметров цена – качество – доступность, требуемая вязкость, обеспечивающая использование олигодиена в качестве жидкой фазы композиции; минимальная токсичность. Вместе с тем, возможна ситуация, при которой комплекс физико-химических характеристик базового олигодиена не в полной мере соответствует требованиям эксплуатации. В этом случае оправдана его модификация, если иными путями добиться требуемого результата невозможно. Естественно, что и модифицированный олигодиен должен удовлетворять указанным выше требованиям и затраты на модификацию не должны превышать экономический эффект от его применения.

В целях получения наиболее полных сведений о влиянии физико-химических и структурных характеристик исходных олигодиенов на свойства готовых композиций, произвели выборку по группам, представленным в таблице 1.

Кроме того, для проведения модификации в жидкой фазе, использовали дивинилстирольный термоэластопласт ДСТ-30Р-01 – блочный сополимер (30% стирола), выпускаемый по ТУ 38.40327-90. Вследствие блочной конфигурации этот каучук очень пластичен и однороден по соотношению мономеров. Потенциальную способность выбранных немодифицированных олигодиенов к сшиванию производили оценкой степени загущения (гелеобразования) при введении реакционноактивных соединений по изменению во времени

характеристической вязкости.

В результате обобщения полученных данных установлено: во-первых, взаимодействие каучуков первой группы с хлорсодержащими реагентами сопровождалось сильным загущением с выделением большого количества тепла и газообразных продуктов, также наблюдалось образование больших пор в материале; во-вторых, связующие, отверждаемые хлорсодержащими компонентами, быстро охрупчивались. Отмечено, что при увеличении молекулярной массы олигомера и его функциональности загущение происходило более интенсивно.

При температуре 25 °С изучали отверждающее действие на каучуки полифункциональных соединений: 3 % раствора HCl, порошкообразного CaCl₂, триэтилететрамина (ТЭТА), полиизоцианата (ПИЦ), сиккатива – нафтената кобальта.

Таблица 1 - Физико-химические характеристики исследуемых олигодиенов

Марка	Молекулярная масса (Мм)	Вязкость при 25°С, Па·с	Микроструктура, %			
			1,2-винил	1,4-транс	1,4-цис	Цикл
Первая группа – маленизированные олигодиены						
N4-5MA	5500	40	-	-	-	-
N4-10MA	8200	75	-	-	-	-
Вторая группа – олигодиены без функциональных групп						
AL	1000	4	40...55	15...25	10...20	15...20
PH	2600	8	35...50	30...40	15...25	-
PM4	1500	0,7	15...25	40...50	20...30	-
Третья группа – сополимеры бутадиена						
СКДП-Н	3200	до 16,0	15...20	58...62	18...28	-

Отмечено отсутствие прямой связи между реакционной способностью и молекулярной массой используемых олигомеров. Очевидно, что в этом случае ведущую роль играла пространственная структура полимера и соотношение звеньев различного типа, что обеспечивало избирательную активность указанных олигомеров. Жидкие сополимеры бутадиена наиболее активно реагировали с полифункциональным отвердителем ПИЦ, причем с увеличением концентрации последнего загущение интенсифицировалось. Пленки из всех указанных связующих после суточного выдерживания полимеризовались в массе на отлив.

При использовании аминного отвердителя практически у всех олигомеров наблюдалось образование одиночных тяжей, имевших склонность к набуханию. Полученные и обобщенные результаты изучения реакционной способности исследуемых каучуков показали, что олигомеры, имеющие сравнительно небольшую молекулярную массу, а, следовательно, и вязкость проявляли меньшую реакционную активность по отношению к некоторым реагентам. Вместе с тем, даже в ряду олигомеров с приблизительно равными молекулярными массами пленкообразование происходило несоразмерно, что обусловлено различиями структуры олигомеров и соотношением звеньев различного типа. Кроме того, малая молекулярная масса отражала малую протяженность макромолекулы, что обуславливало минимальное количество дефектов ее структуры. В отсутствие термического воздействия не обеспечивался термофлуктуационный разрыв цепи макромолекул, следовательно, не было и активных радикалов, по которым бы проходило сшивание олигодиена. Установлено, что для бутадиеновых олигомеров именно микроструктура полимерной цепи оказывала решающее влияние на их реакционную способность. Повышение реакционной способности олигомеров, применительно для условий холодного отверждения, возможно за счет привития реакционноспособных концевых групп.

В этой связи выделены наиболее общие критерии качества для некоторых классов разрабатываемых полимерных композиций, имеющих ряд общих характеристик и отличий: герметизирующие материалы для аэродромных и дорожных покрытий; ремонтные композиции для указанных покрытий и устройства слоев износа; гидроизолирующие, антикоррозионные и кровельные материалы; композиции для наливных полов. Общими характеристиками для композиций являются эластичность (в рамках заданной), водостойкость, химстойкость (для агрессивных производств), сохранение эксплуатационных характеристик заданное время.

Исследования по разработке и оптимизации композиций на основе олигодиенов проводили на нескольких уровнях.

Во-первых, исследовали возможность модификации исходных олигодиенов в целях обеспечения максимального соответствия физико-механических характеристик разрабатываемых композитов предполагаемым условиям эксплуатации, затем проводили модификацию наиболее рациональным способом.

Во-вторых, оптимизировали полученное связующее по нескольким, наиболее значимым характеристикам.

В целях получения связующих с высокими показателями адгезии провели эпокси́дирование сополимера СКДП-Н и олигодиенов 1 и 2 групп. Характерные свойства, сообщаемые полимерам концевыми эпоксигруппами (ЭГ): термо- и светостойкость, эластичность при низких температурах, высокая адгезия ко многим подложкам. По данным экспериментальных исследований получили уравнения, отражающие зависимость содержания ЭГ от параметров проведения реакции.

Наибольший выход ЭГ наблюдался у каучука СКДП-Н – 14,5 масс. % при проведении реакции со следующими значениями влияющих факторов: $P=6$ МПа, $T=130$ °С, $t=170$ мин.

Для проведения реакций по привитию карбоксильных групп (КГ) отобрали каучуки наименьшей вязкости, поскольку привитие указанных групп сопряжено с резким повышением вязкости олигомеров. Отверждение проводили при помощи ZnO с образованием средних солей, играющих роль сравнительно прочных поперечных связей. Установлено, что увеличение концентрации карбоксильных групп приводило к снижению эластичности связующих, причем эта тенденция сохранялась и за пределами области эксперимента. Одновременно со снижением эластичности наблюдался рост прочности при растяжении и модуля при растяжении на 100 %. Это обстоятельство указывало на возможность корректировки физико-механических характеристик готовых композиций путем изменения содержания КГ в каучуке, сообразуясь с предполагаемыми условиями эксплуатации композиции. Исходная структура олигомеров оказывала непосредственное влияние на исследуемые характеристики. Так, прочности при растяжении 22,5 МПа удалось достичь для олигомера РН 2600 с преобладанием звеньев 1,4-*транс* при введении 3,5...4,5 масс. % метакриловой кислоты.

С целью получения жидкого связующего деструктурировали исходный термоэластопласт ДСТ-30Р-01, в результате получили модифицированный каучук с условной вязкостью по вискозиметру ВЗ-4 менее 9 с при температуре 50 °С, содержащий менее 1 масс. % эпоксидных групп. Количество гидроксильных групп (ГГ), определенное по методу ацетильного числа у модифицированного полимера составляло 0,1 meq ОН/g. Наличие у модифицированного полимера концевых ГГ обуславливало возможность его отверждения при помощи полифункциональных соединений, проявляющих активность в отношении указанных групп. Полноту протекания реакции оценивали по трем показателям: прочности и модулю при растяжении на 100 %, величине относительного удлинения при разрыве.

При отверждении олигомеров с ЭГ установлено, что изменение их физико-механических характеристик напрямую зависело от количества привитых ЭГ и используемого отвердителя. Установлено, что наиболее высокие адгезионные, когезионные показатели и морозостойкость матрицы достигались при максимальном содержании ЭГ в полимере и количестве отвердителя 12...14 масс. %. Для модифицированных олигомеров содержащих КГ проводили аналогичные исследования. Поскольку количество привитых звеньев метакриловой кислоты у всех рассмотренных олигомеров одинаково, представлялось возможным оценить активность применяемых отвердителей по отношению к олигомерам различной структуры и молекулярной массы. На основе полученных экспериментальных данных были получены линейные зависимости между величиной относительного удлинения и прочностью на разрыв, что позволило оценить вклад различных отвердителей в формирование структуры композитов.

Проведенные исследования степени сшивания по изменению физико-механических характеристик совмещали с исследованиями скорости расходования реакционноспособных групп по смещению плотности поглощения ИК-спектров на спектрофотометре с дифракционными решетками в области 4000...400 см⁻¹. Изменение количества различного типа звеньев для олигодиенов оценивали по полосам поглощения: 1,4-*цис* – 710 см⁻¹, 1,4-*транс* – 967 см⁻¹, звенья 1,2-*винил* – 910 см⁻¹, содержание СН₂-групп – 1460 см⁻¹, связи О-Н – 3600 см⁻¹, группа –N=C=O – 2275...2250 см⁻¹, –COOH – 3000...2500 см⁻¹ [3]. Полученные данные хорошо согласуются и позволяют сделать заключение о первичном расходовании реакционноспособных групп (в порядке убывания скорости) – карбоксильных, гидроксильных и эпоксидных. Затем в процесс включаются звенья 1,4-*транс* при экзотермическом характере отверждения. Степень сшивания полученных связующих определяли по выходу золь-фракции экстрагированием кипящим растворителем. Установлено, что олигодиены малой молекулярной массы сшивались только по реакционноспособным группам, в то время как олигодиены большей молекулярной массы имели связи и по пространственным звеньям. В первом случае получены высокоэластичные материалы – основа для герметиков, во втором – кожеподобные – основа для слоев износа и ремонтных материалов.

В целях получения объективных сведений о совместимости исследуемых каучуков и наполнителей проводили эксперименты по установлению зависимостей характеристической вязкости от

количества разнообразных вводимых наполнителей. Наполнители вводили пошагово, с градацией 2 % по объему, с контролем величины вязкости на ротационном вискозиметре РВ-8М. После достижения вязкости смеси 80 Па·с введение наполнителей прекращали. Указанная вязкость обеспечивала равномерное распределение полимерной композиции по подложке и самовыравнивание под действием силы тяжести. Аналогично определяли изменение вязкости и при введении армирующих волокон: алюмоборосиликатных стеклянных, полиамидных, базальтовых.

При совместном введении мелкодисперсных наполнителей и армирующих волокон вязкость η изменялась аддитивно, в соответствии с зависимостью: $\eta = \eta_0 + Ax_1 + Bx_2 + Cx_3$, где η_0 – вязкость исходного каучука, Па·с; x_1, x_2, x_3 – количество вводимых компонентов, об.%; A, B, C – коэффициенты, характеризующие наполнители.

На основании указанного уравнения рассчитывали сочетания различных наполнителей с армирующими компонентами. В результате расчета были определены границы варьирования объемного содержания наполнителей при заданном количестве структурообразователя – компонента максимальной абсорбционной способности. Влияние наполнителей оценивали по величине прочности при когезионном разрыве и адгезии к стальной подложке. Установлено, что увеличение количества вводимых наполнителей способствовало росту значений разрывной прочности с одновременным снижением величины адгезии к стальной подложке, причем оптимизировать композиции по какому-либо указанному параметру не представлялось возможным. На основе полученных теоретических обобщений разработаны основные положения проектирования композиционных материалов на основе модифицированных олигомеров.

С целью выяснения роли компонентного состава в термостойкости и создания композитов, обладающих термической стойкостью, были проведены термографические исследования композиций на основе модифицированных жидких бутадиеновых олигомеров марок ЭСКДП-Н и СКДН-Н [4]. На основе полученных данных установлена связь состава и структуры модифицированных олигодиенов с их способностью противостоять термическому воздействию, определяемой по величине падения массы.

При приготовлении полимерных композиций определяли гомогенность смеси и энергетические затраты на смешивание при помощи экспериментальной установки, работающей по принципу

пластографа Брабендера. Определена оптимальная продолжительность смещения для различных сочетаний связующее – наполнитель, соответствующая максимальной гомогенности. Установлены величины удельных энергозатрат $E_{y\delta}$ оптимальных режимов смещения. Определена экономическая эффективность разработанных композиционных материалов, которая обусловлена использованием недефицитных сырьевых материалов, гарантированным сохранением высоких значений физико-механических характеристик, увеличением межремонтных сроков эксплуатации сооружений.

Список литературы:

1. *Хозин, В. Г.* Полимеры в строительстве: границы реального применения, пути совершенствования / В.Г. Хозин // Строительные материалы. – 2005. - № 11. - С. 12-14.
2. *Бартенев, Г. М.* Физика полимеров / Г.М. Бартенев, С.Я. Френкель. - Л.: Химия, 1990. - 432 с.
3. *Наканиси, К.* Инфракрасные спектры и строение органических веществ / К. Наканиси / пер. с англ. - М.: Мир, 1965. - 212 с.
4. *Барабаш, Д. Е.* Термическая стойкость олигодиеновых каутонов / Ю.М. Борисов, Д.Е. Барабаш, С.А. Гошев // Строительные материалы. – 2007. - № 11. - С. 2-4.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПУТЕМ ПЕРЕСТРОЙКИ ИХ СТРУКТУРЫ

**Басавин Д.А., аспирант,
Иванов И.В., канд. техн. наук, доцент**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Повсеместное распространение технических систем в настоящее время предъявляет к ним повышенные требования надёжности. Используемые уже достаточно длительное время методы обеспечения надёжности подобных систем путем различных видов резервирования остаются одними из основных решений. Однако использование подобных методов зачастую достаточно дорогостояще, особенно в случаях дорогостоящего оборудования.

Для решения проблем живучести применяются различные виды избыточности систем, среди которых можно выделить две наиболее интересные нас большие группы: избыточность элементов и избыточность структуры. За счёт избыточности элементов становится возможным использование в системе многофункциональных элементов. Многофункциональность (универсальность) элементов способствует обеспечению функциональной избыточности системы и снижает структурную значимость элементов. В структурной избыточности в свою очередь выделяется избыточность коммуникаций, позволяющую менять текущую структуру системы в кратчайшие сроки в случае возникновения аварий и нарушении топологии системы. Таким образом, при объединении этих двух избыточностей в системе, её можно будет практически произвольным образом реконфигурировать (ограничения накладываются функциональностью элементов), поддерживая тем самым её живучесть.

В данной работе предлагается применение теории живучести систем к техническим системам, задействованным в промышленности. Рассматривается метод повышения живучести технических систем путём перестройки их структуры. При выходе из строя функциональных элементов системы, предлагается использовать функциональные элементы, предназначенные для выполнения других задач, но способных выполнять задачи вышедших из строя элементов, с возможным понижением качества.

Примером подобной системы может служить комплекс ЭВМ (вычислительная сеть), в котором при выходе из строя одной или

нескольких машин, нагрузка перераспределяется на другие и вычислительная сеть не теряет свою способность функционировать. Однако способность к функционированию поддерживается в данном случае за счёт снижения показателей функционирования, например, таких как общая загрузка системы, что в свою очередь влияет на время обработки информации – ключевой показатель вычислительной сети. Другим примером может служить система энергообеспечения, в которой при возникновении неполадок менее значимые источники отключаются, позволяя тем самым продолжать работу более значимым. В рамках города при возникновении аварий на электростанции первыми будут отключаться жилые районы для того, чтобы поддержать питание в больницах.

Основной задачей в данном вопросе становится алгоритм генерации (подбора) отвечающей заданным требованиям структуры технической системы. Для подбора структуры могут применяться методы прямого и направленного перебора, а также интеллектуальные методы. Прямой перебор является самым простым в реализации методом, однако в случае многокомпонентных систем им невозможно пользоваться в связи с ростом времени перебора. Методы направленного перебора обладают превосходством над методами прямого перебора, так как позволяют сократить время, затрачиваемое на поиск, однако их не всегда удаётся использовать из-за возможного отсутствия решения. В подобных случаях следует использовать интеллектуальные методы поиска структуры системы. К таким методам можно отнести генетические алгоритмы, которые целесообразно использовать в случаях большого количества возможных конфигураций структур систем, что соответствует поставленным требованиям.

В связи с тем, что мы рассматриваем задачу обеспечения живучести технических систем, то необходимо произвести выбор средства построения моделей. Для этих целей зачастую используются конечные автоматы и графы, однако в данном случае они не подходят. Конечные автоматы позволяют описывать поведение модели, но не её структуру. Графы же наоборот позволяют описывать структуру модели, но не её поведение. Для решения задачи генерации структуры системы необходимо средство, позволяющее описывать как структуру модели, так и её поведение. Одним из таких средств являются сети Петри, среди которых выделяют временные, функциональные, цветные, ингибиторные и иерархические сети Петри. При объединении этих видов сетей воедино, получается мощный инструмент, позволяющий описывать вложенные, временные,

многофункциональные модели, с произвольным поведением, включающим и параллельное выполнение различных процессов.

Для решения задачи обеспечения живучести технических систем путём перестройки их структуры за основу был взят программный продукт, позволяющий производить автоматическую генерацию структурных решений и моделирование их поведения под названием GAPN v.1 (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2009616324). GAPN производит генерацию решений на основе генетического алгоритма на основе сетей Петри. Генетический алгоритм, на котором базируется система позволяет достаточно быстро производить направленный перебор моделей, однако его целесообразно использовать только при многокомпонентных моделях.

Для решения практических задач при помощи GAPN предлагается использовать стандарт описания моделей, на основе сетей Петри PNML, который позволяет проектировать модели произвольных технических систем. Также необходимо разработать методы оценки эффективности функционирования технических систем, для определения оптимальной по заданным критериям эффективности структуры модели.

Практическая значимость заключается в том, что на основе получаемых после моделирования системы данных можно будет в реальном времени определять максимально удовлетворяющую текущим критериям структуру многокомпонентной технической системы, которая при этом продолжит функционировать с максимальной эффективностью (определяется в зависимости от предметной области).

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАПИЛЛЯРНЫХ СТРУКТУР В ТРЕХФАЗНЫХ СЫРЬЕВЫХ СМЕСЯХ БЕЗОБЖИГОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНГЛОМЕРАТОВ

Белов В.В., д-р техн. наук, профессор,
Образцов И.В., аспирант

Тверской государственной технической университет

Многочисленные исследования увлажненных дисперсных систем, например, песчаных грунтов [1], показывают, что в широком диапазоне изменения влажности от нуля до перехода системы в текучее, близкое к двухфазному «твердое - жидкость», состояние наблюдается сложный, похожий на синусоидальный характер зависимости основных физико-механических свойств от влажности (рис.1). При этом «плюсовой» или «минусовой» экстремумы на этих графиках зависят от свойства: насыпная плотность или насыпной объем, плотность после определенного уплотнения, различные прочностные характеристики и т.д. Положение первого экстремума по данным разных авторов в грунтоведении связывается, по-видимому, в зависимости от применявшихся методик, либо с влажностью максимальной гигроскопичности, либо с влажностью максимальной молекулярной влагоемкости. Второй экстремум грунтоведами связывается с понятием оптимальной влажности (очевидно, в силу ее важности с точки зрения уплотняемости грунта) [1].

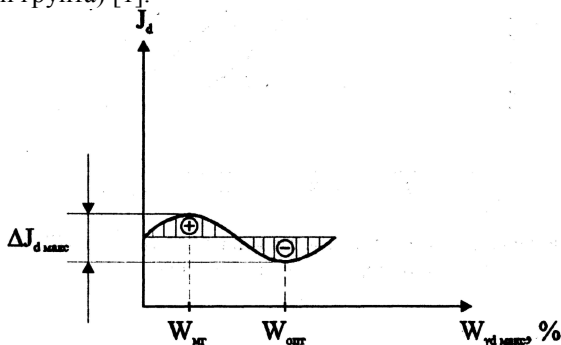


Рис.1. Обобщенный характер зависимости физико-механических свойств дисперсных систем от влажности (J_d – коэффициент относительной плотности дисперсного грунта)

В наших работах по изучению влияния влажности сырьевой смеси на свойства строительных прессованных конгломератов (силикатного кирпича [2], цементного бетона [3]) показано практическое значение влажности, соответствующей первому экстремуму свойств, в частности, минимуму насыпной плотности смеси. При этой влажности, названной нами в свою очередь оптимальной или влажности максимального глобулирования, после соответствующего уплотнения достигается максимальная прочность свежеформованных и готовых изделий. Данный факт объясняется оптимальной структурой смеси, характеризующейся максимальным сосредоточением частиц вяжущего на поверхности зерен заполнителя под действием сил капиллярного сцепления. Эта первоначальная структура затем в основных чертах наследуется строительным конгломератом, проходя через стадию (по Ю.М. Баженову) последующего «укрепления» структуры в результате твердения материала.

В данной работе была поставлена задача смоделировать на компьютере капиллярное взаимодействие мелких и крупных частиц для системы с влажностью близкой к оптимальной (максимального глобулирования), при которой за счет капиллярного взаимодействия мелких частиц песка с крупными образуются агрегаты-глобулы, которые в свою очередь строят арочные структуры.

Для построения компьютерной геометрической модели объемной ячеисто-глобулярной структуры использовали язык программирования Blitz3D с возможностью трехмерной визуализации. Основой алгоритма служит условие, исключающее пересечение поверхностей объектов в трехмерном пространстве. В целях исключения повторяемости моделируемой структуры применяли генератор случайных чисел для задания параметров положения частиц в пространстве.

Порядок разработки алгоритма программы

В бесконечном трехмерном пространстве создается объект сфера, имеющая координаты $X=0$, $Y=0$, $Z=0$ и привязывается к объекту «камере», проецирующей трехмерное изображение на экран. «Камера» удалена от объекта на регулируемый радиус, и способна вращаться вокруг объекта. Изменение положения «камеры» осуществляется нажатием клавиш со стрелками.

Последовательно создаются другие объекты сферы. Создание объектов происходит после выполнения условия отсутствия пересечения поверхностей. Для проверки условия в цикле рассчитываются расстояния L между центрами всех объектов, которое не должно быть меньше суммы радиусов R двух соприкасающихся

сфер. Размещение вновь созданного объекта происходит вблизи поверхности случайно выбранного существующего объекта в сферических координатах, где случайно задаем зенитный θ и азимутальный ϕ углы. Таким образом, по окончании цикла создания и размещения объектов, получается структура, состоящая из сфер, которые соприкасаются между собой, но не пересекаются (см. рис.2).

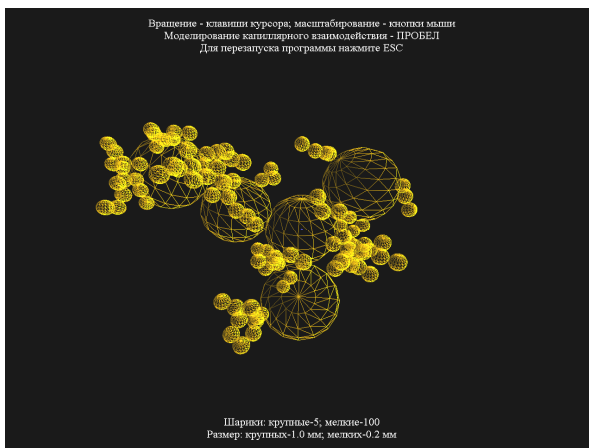


Рис.2. Структура, полученная на первом этапе моделирования

Для моделирования процесса «налипания» мелких частиц на крупные вычисляются в каждом цикле расстояния от каждого мелкого объекта до каждого крупного и сравниваются между собой. Сближение мелкой частицы к крупной происходит в том случае, если расстояние до крупной минимальное из всех рассмотренных. Мелкие сферы изменяют свои координаты в сторону ближайших крупных. В процессе сближения объектов происходит проверка столкновений: мелких сфер с мелкими – со скольжением, мелких с крупными – с остановкой.

Моделируется процесс раздвижки крупных сфер. При «налипании» мелких частиц на поверхность крупных рассчитываются расстояния между крупными сферами. Вводится условие: если рассчитанные расстояния меньше двух диаметров мелких сфер (в зазоре между крупными) происходит изменение координат крупных шариков во взаимоположных направлениях.

По окончании процесса раздвижки сближаются мелкие шарики друг с другом, не отрывая их от поверхности крупных. Для этого

вычисляются между ними расстояния и изменяются координаты мелких шариков относительно поверхности крупных. Силы сближения мелких к крупным и мелких к мелким (вдоль поверхности крупных) продолжают действовать (см. рис.3).

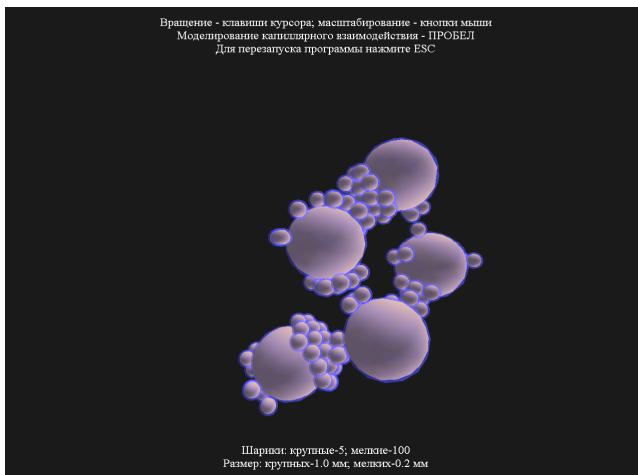


Рис.3. Структура, полученная на втором этапе моделирования

Происходит сближение мелких шариков с крупными, при этом рассчитываются расстояния от каждого мелкого шарика до каждого крупного, и для сближения выбирается минимальное. Таким образом, мелкий шарик притягивается к ближайшему крупному. Рассчитываются расстояния между крупными шариками и происходит их взаимное отдаление на расстояние двух мелких шариков в зазоре.

Рассчитываются расстояния между «налипшими» мелкими шариками и другими крупными, после чего происходит скольжение мелких шариков по поверхности крупного в сторону ближайших крупных. Таким образом, мелкие шарики размещаются в зазорах между крупными шариками, тем самым имитируя образование арочных структур (рис. 4).

В результате выполнения алгоритма получаем связанную систему, в которой крупные зерна раздвинуты друг относительно друга на расстояния в две мелкие частицы, мелкие частицы расположены на поверхности крупных частиц и заполняют зазоры между крупными. Алгоритм взаимодействия выполняется в цикле и является

динамическим. Полученная трехмерная модель отражает принцип капиллярного взаимодействия частиц.

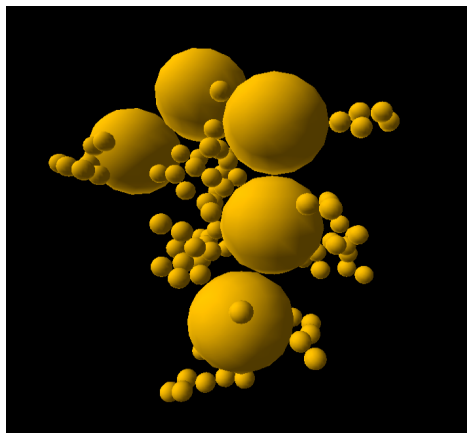


Рис.4. Процесс моделирования ячеисто-глобулярной структуры

Компьютерное моделирование и 3D-реконструкция капиллярных структур в трехфазных сырьевых смесях безобжиговых строительных конгломератов позволяет обосновать научно-методический подход к получению композитов с полидисперсной структурой, заключающийся в ее последовательной оптимизации, начиная с микроуровня (вяжущей части), и затем на уровнях мелкого и крупного заполнителя.

Список литературы:

1. *Потапов, А. Д.* Песчаные грунты: научное издание / А.Д. Потапов, Н.А. Платов, М.Д. Лебедева. - М.: Изд-во АСВ, 2009. - 256 с.
2. *Белов, В. В.* Влияние капиллярного структурообразования в сырьевой смеси силикатного кирпича на его свойства / В.В. Белов // Строительные материалы. Наука. - 2003. - № 1. - С. 10-12.
3. *Белов, В. В.* Оптимизирование композиций для изготовления мелкозернистого прессованного бетона / В.В. Белов // Вестник Центрального регионального отделения РААСН: период. научное издание. - Воронеж-Тверь: ТГТУ, 2007. - Вып. 7. - С. 27-35.

WEB-БАЗИРОВАННЫЙ ДОСТУП К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ И ЭНЕРГОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Белоусов А.В., канд. техн. наук, доцент,

Кошлич Ю.А.,

Быстров А.Б.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Обеспечение доступа к технологической информации является ключевым моментом в организации энергоэффективной системы мониторинга состояния распределённых энергетических объектов.

Среди существующих тенденций в области построения систем мониторинга выделяется переход к интенсивному внедрению веб-технологий, связанный с их всё более широким проникновением во все сферы управления и автоматизации инженерных систем энергоснабжения и энергораспределения зданий и сооружений. Данный подход представляет собой логическое развитие идеи использования тонких клиентов на стороне оператора.

Дополнительные преимущества обеспечены активной экспансией веб-технологий: следование стандартам World Wide Web Consortium делает возможным построение энергоэффективных систем мониторинга с минимальными требованиями к клиенту. Следование этой парадигме подразумевает оперативное предоставление технологической информации о состоянии энергетического объекта пользователю средствами протоколов стека TCP/IP, при том, что запросы и отображение информации осуществляются веб-браузером на клиентской машине. Последний факт делает возможным наблюдение за состоянием объекта с любого, в том числе мобильного устройства, оснащённого средствами коммуникации, достаточными для подключения к веб-серверу.

Требование оперативности получаемых оператором данных означает, что отображение информации на стороне клиента должно происходить динамически, без необходимости полной перезагрузки страницы.

Данное требование противоречит первоначальной концепции обмена информацией по протоколу HTTP, когда для каждого следующего запроса клиент открывает соединение, которое будет закрыто сразу же после получения ответа от сервера. Этот подход

исключает возможность частичного обновления запрошенной страницы.

Подходы к решению данной задачи прошли несколько эволюционных этапов развития, каждый из которых нашёл отражение в системах мониторинга.

Среди наиболее распространённых в настоящее время схем функционирования веб-приложений можно выделить схемы, основанные на использовании средств Java-среды и технологий AJAX (рисунок 1), в том или ином виде.

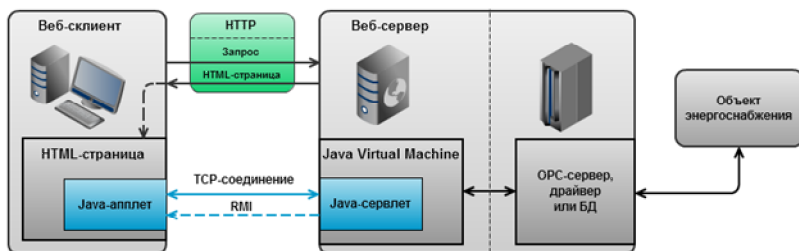


Рисунок 1. Схема доступа к технологической информации посредством Java-апплета

Первые снискали свою популярность благодаря тому, что позволяют организовать событийно-ориентированный механизм взаимодействия с клиентом, когда данные передаются сервером непосредственно в момент изменения состояния объекта. При этом информация передаётся клиенту по отдельному TCP-каналу, открытому сервером на нестандартном порту, что создаёт трудности в работе клиентского приложения за сетевым экраном. Более того, при использовании протокола RMI (Remote Method Invocation) данный порт выбирается случайным образом. Недостатком разумно считать и необходимость использования плагина Java для браузера - одной из самых популярных мишеней для сетевых атак.

AJAX (Asynchronous JavaScript And XML) этих недостатков лишен (рисунок 2), однако в классической реализации данная технология не позволяет серверу отправлять обновления клиентам в произвольные моменты времени, определяемые самим сервером, так как коммуникация осуществляется по протоколу HTTP 1.0 (запрос-ответ). Этот недостаток порождает необходимость регулярной отправки клиентом запросов, что значительно повышает нагрузку на сеть и

аппаратную часть сервера при большом количестве обслуживаемых клиентов.

Другие варианты включают в себя применение технологий .NET, таких как ASP.NET и Remote Scripting. В этих случаях, также как и с AJAX, используется только протокол HTTP, а потому невозможно добиться событийно-ориентированного обновления тонкого клиента. Основной отрицательной чертой этих подходов является их жёсткая привязка к определённой программной платформе.

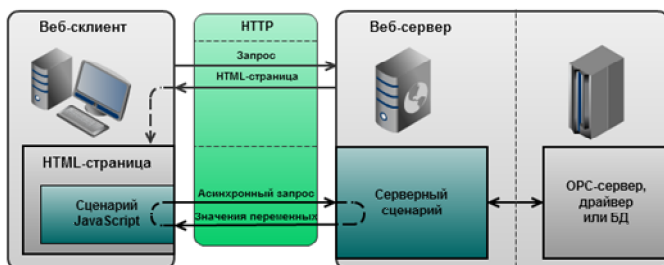


Рисунок 2. Схема доступа к технологической информации с использованием AJAX

Результатом изысканий путей устранения указанных недостатков явилась разработка метода, подразумевающего использование технологии реверсивного AJAX и long poll (рисунок 3).

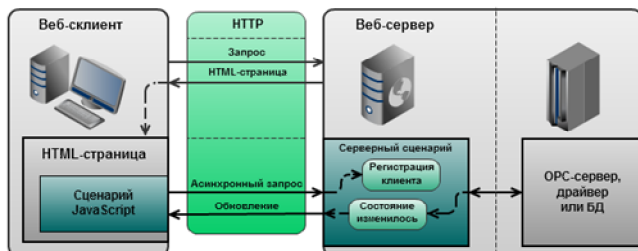


Рисунок 3. Событийно-ориентированный доступ на основе реверсивного AJAX

В простейшем виде схема такого клиент-серверного взаимодействия может быть описана следующим образом. После загрузки статической информации с веб-сервера (сама страница, изображения, клиентские сценарии и т.д.) клиент посылает асинхронный HTTP-запрос с информацией, определяющей его текущее состояние. Веб-сервер фиксирует это состояние, оставляя HTTP-

соединения открытым - таким образом происходит регистрация конкретного клиента на следующее обновление. Серверное приложение, осуществляющее опрос датчиков объекта, уведомляет веб-сервер об очередном изменении состояния. Информация о данном изменении отсылается веб-сервером клиенту, после чего клиент закрывает HTTP-соединение.

Тот факт, что соединение может оставаться открытым продолжительное время позволяет:

1. избавить клиент от частой отправки регулярных запросов, снижая нагрузку на сеть и сервер;

2. сократить время реакции системы - клиент получает обновлённые данные без задержек, связанных с созданием нового соединения.

Реверсивность работы AJAX в данном случае объясняется переносом инициативы от клиента к серверу: сервер самостоятельно определяет моменты рассылки обновлений клиентам. При этом не требуется ни использование нестандартных портов для создания дополнительных соединений, ни каких-либо расширений браузера на стороне клиента.

Подобный подход иногда альтернативно именуют Comet AJAX, однако устоявшейся общепринятой терминологии не существует.

Интересной альтернативой применению реверсивного AJAX можно считать технологию WebSockets, спецификации которой разрабатываются консорциумом W3C в рамках проекта HTML5. Веб-сокеты, как раз, и позволяют реализовать независимое асинхронное обновление отдельных участков страницы на событийной основе. Основным их недостатком, не позволившим извлечь выгоду из применения данной технологии в текущей инкарнации разрабатываемой системы, является неудовлетворительная поддержка данного стандарта браузерами нынешнего поколения. В скором будущем, однако, ситуация должна измениться в лучшую сторону.

В качестве языка разработки серверного приложения, был выбран Python. Решающими факторами, склонившими чашу весов в его пользу, оказались интенсивное и устойчивое его развитие в течение последних нескольких лет, выдающиеся возможности расширения, относительная простота реализации взаимодействия с OPC-сервером средствами данного языка, а также его высокая популярность в сфере разработки web-приложений.

Организация коммуникации по протоколу OPC была реализована с помощью открыто распространяемого по открытой лицензии модуля

OpenOPC для Python. Связь с OPC-сервером осуществляется по протоколу OPC-DA 2.05a.

Сервер осуществляет съём технологической информации с датчиков оборудования по протоколу Modbus, предоставляя доступ к ней через OPC-интерфейс.

Так как основную массу данных в рассматриваемой системе формирует информация о температуре отдельных узлов установки, инерционность процессов достаточно высока. Таким образом, частоту опроса OPC-сервера разумно установить в пределах нескольких секунд.

В качестве веб-сервера может выступать любой распространённый HTTP-сервер, наделённый поддержкой спецификаций WSGI (Web Server Gateway Interface). Таковым является, например, Apache 2.2 с модулем `mod_wsgi`, однако возможны и предпочтительны более сложные варианты с разделением на "легковесный" front-end сервер, обслуживающий статические запросы и выступающий в качестве прокси, перенаправляя динамические запросы на обработку back-end серверу. Такая функциональность может быть достигнута связкой из `nginx` и `Apache` соответственно.

Ниже приведён пример реализации класса `RequestHandler` на языке Python, отвечающего за пересылку обновлений клиентам:

```
class RequestHandler:
    def __init__(self, cond):
        self.updated = cond

    def __call__(self, environ, start_response):
        response_headers = [('Content-type', 'text/plain')]
        if environ['REQUEST_METHOD'] != 'GET':
            start_response('405 Method Not Allowed', response_headers)
            return [UNKNOWN]

        client_state = environ['PATH_INFO'][1:]
        if client_state:
            with self.updated:
                if disp.cached == None or client_state == disp.cached:
                    self.updated.wait()
                    new_state = disp.cached
        else:
            new_state = ','.join(str(v.split('.')[1]) for v in disp.taglist)
            start_response('200 OK', response_headers)
            return [new_state]
```

Были разработаны и испытаны несколько вариантов серверного приложения, отличающихся способом взаимодействия с клиентской частью и максимальным количеством одновременно обслуживаемых клиентов.

Задача одновременного обслуживания большого числа клиентов может быть решена применением потоков исполнения, порождаемых веб-сервером для каждого зарегистрировавшегося клиента. Здесь возникает ограничение на число одновременно обрабатываемых заявок на обновление, так как создание и уничтожение потока — достаточно ресурсоёмкие операции, к тому же каждый поток занимает некоторое количество оперативной памяти.

Именно по этим причинам обоснован переход к применению сопрограмм, которые вышеуказанных недостатков лишены. Этот подход также гарантирует меньшую вероятность возникновения ошибок в процессе разработки приложения, так как точки передачи управления между сопрограммами указываются программистом явно, а потому заранее известны, в отличие от ситуации с потоками, когда управление передаётся в произвольные моменты времени, определяемые операционной системой.

Конкретная реализация опирается на модуль `greenlet` для Python в вопросе управления сопрограммами. При этом общение с OPC-сервером всё равно осуществляется в отдельном потоке, чтобы избежать ситуации, когда большое число зарегистрированных заявок препятствует своевременной экстракции экспортируемых значений переменных.



Рисунок 4. Взаимодействие потоков и сопрограмм в рамках обработки заявок

Решение на базе сопрограмм в плане масштабируемости значительно превосходит многопоточное. Если в случае потоков удавалось добиться стабильной работы в режиме с 60-70 заявками, то сопрограммы обеспечивают обновлениями сотни клиентов.

В итоге, оператор получает обновления состояния по протоколу HTTP, используя веб-браузер в качестве клиента. Единственным требованием является разрешённое исполнение JavaScript-сценариев в браузере, так как вся клиентская часть системы реализована именно на их основе. Данное требование практически невозможно считать обременяющим.

Список литературы:

1. Тимирбаев А., Лангманн Р. Веб-базируемый доступ к технологической информации Мир компьютерной автоматизации, 5, 2002.
2. Григорьев А.Б. Взаимодействие с OPC-серверами через Internet Промышленные АСУ и контроллеры, 11, 2002
3. OPC Data Access Automation Interface Specification, Version 2.02. Instead of version 2.01; released 03.02.99. OPC Foundation, 1999.
4. OPC Data Access Custom Interface Standard Version 2.05A; released 28.06.2002. OPC Foundation, 2002.
5. OPC XML-DA Specification, Version RC1.8, Release Candidate, released 13.06.2002. OPC Foundation 2002
6. Gary A. Mintchell Software Standards Propel Information Exchange Control Engineering, January, 2002 (русский перевод: Гэри А. Минтчелл Информационный обмен и программные стандарты Мир компьютерной автоматизации, 1-2, 2002)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В СОСТАВЕ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

**Белоусов А.В., канд. техн. наук, доцент,
Московченко С.И.,
Кошлич Ю.А.**

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

Решение вопроса повышения энергетической эффективности систем энергоснабжения и жизнеобеспечения зданий и сооружений зачастую касается проблемы использования альтернативных источников энергии. Одним из таких решений может служить применение гелиосистемы с солнечными коллекторами в составе систем подготовки горячего водоснабжения (ГВС) зданий.

Использование солнечной энергии для теплоснабжения является одним из наиболее перспективных направлений использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Солнечные водонагревательные установки имеют наименьшие сроки окупаемости из всех видов ВИЭ. Они технически несложны и обеспечивают хорошие экологические показатели. В условиях дефицита энергоносителей и их постоянно растущей цены возрастает роль систем, использующих альтернативные источники энергии.

С целью экономии энергоносителей на территории БГТУ им. В.Г.Шухова в рамках демонстрационной зоны по энергосбережению внедрена система подготовки горячего водоснабжения спортивной кафедры с использованием солнечных коллекторов. По карте усредненных данных поступления солнечной энергии на рисунке 1 видно, что Белгородская область располагается в районе, в котором на 1 квадратный метр поступает от 3 до 4 кВт·час солнечной энергии в день; продолжительность солнечного сияния также относительно высока по сравнению с другими регионами (рисунок 2).

Таким образом, вышеописанными факторами обусловлена актуальность применения гелиоустановки в качестве дополнительного источника для обеспечения горячим водоснабжением кафедры физического воспитания и спорта БГТУ им. В.Г. Шухова.



Рис. 1. Карта усредненных данных поступления солнечной энергии

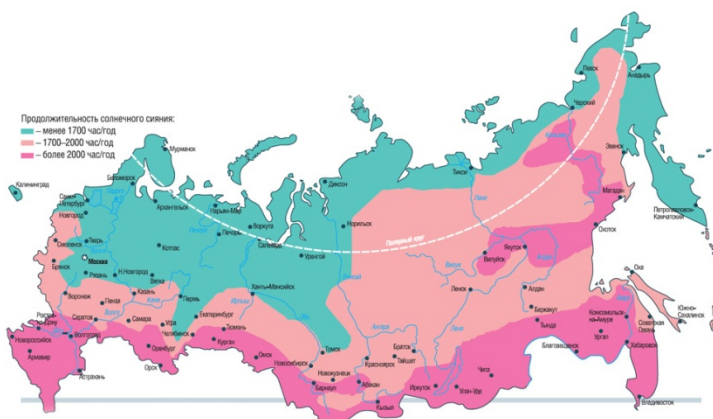


Рис. 1. Солнечные энергоресурсы России

Рис. 2. Солнечные энергоресурсы России

По результатам анализа функционирования гелиоустановки в составе системы управления ГВС (рисунок 1) можно сделать вывод, что использование целесообразно в период с середины апреля по середину октября, когда среднесуточная температура воздуха не падает ниже отметки в 14°C (температуры холодной воды). Анализируя изменение мощности нагрева (рисунок 3), можно сделать вывод, что наибольшая эффективность достигается в летний период года.

Следует более детально рассмотреть изменения технологических величин во время эффективного функционирования солнечных коллекторов, т.е. в летнее время года.

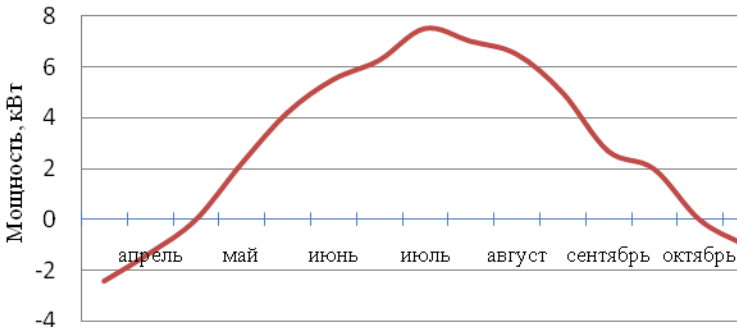


Рис.3. График изменения мощности гелиоустановки

Наибольший интерес, с точки зрения технологических параметров, представляет период наиболее эффективного функционирования гелиоколлекторов, который детально изображен на графике (рисунок 4)

По статистическим данным, полученным в процессе эксплуатации гелиоустановки, были построены графики, отображающие эффективность работы системы в целом.

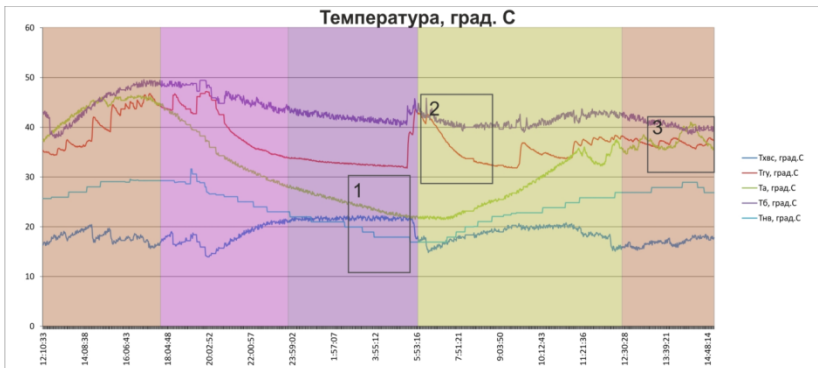


Рис.4. Временные температурные диаграммы работы гелиоустановки (где $T_{хвс}$ – температура холодного водоснабжения, $T_{гу}$ – температура на выходе гелиоустановки, T_a – температура антифриза, T_b – температура бойлера, $T_{нв}$ – температура наружного воздуха)

Цветные области на графиках являются условным обозначением промежутков времени в течение суток: обед, вечер, ночь, утро. При анализе вышеприведенных статистических данных выявлены следующие особенности работы системы в целом:

- 1) При работе в ночное время объемный расход является

постоянным. Поскольку солнечное излучение отсутствует, температура гелиоколлекторов стремится по своему значению к температуре наружного воздуха, т.е. происходит остывание теплоносителя гелиосистемы. Вследствие непрерывной рециркуляции остывающего антифриза в системе, температура воды в бойлерах гелиосистемы уменьшается.

2) В утреннее время при возобновлении потребления воды в системе (т.е., начало ее эксплуатации потребителями) температура ГВС падает, одновременно с этим повышается температура теплоносителя вследствие нагрева солнечных коллекторов с постепенным увеличением интенсивности солнечного излучения.

3) Наблюдается максимальная солнечная активность. Температура гелиоколлекторов максимальна. Происходит постепенный нагрев воды в бойлерах гелиоустановки, который в связи с инерционностью процесса достигает своего максимального значения около 17:00 часов.

Пример работы системы солнечных коллекторов 6 сентября 2011 года в 16:00 показан на рисунке 5 в виде экранной формы автоматизированного рабочего места диспетчера. На форме показаны основные параметры системы горячего водоснабжения, поступающие к оператору в режиме реального времени.

Температура холодной воды, поступающая от горводоканала 17,82°C, тепло от солнечных коллекторов позволяет нагреть воду до 36°C, подняв температуру на 18°C, так как в данном случае, для комфортного обеспечения горячей водой требуется температура 50-52°C, вода нагревается дополнительно 14° и подается потребителям.

Таким образом, на данный момент 56% тепловой энергии на подготовку горячей воды поступает от гелиосистемы.

За текущий день потреблено 5,08 куб. метров воды, соответственно экономия 90 000 килокалорий или 100 кВтч электрической энергии при использовании электрических бойлеров. За 5 месяцев с достаточным уровнем солнечного облучения коллекторов и достаточной температурой воздуха (май, июнь, июль, август, сентябрь), соответственно, возможна эффективная работа в течение 150 дней, с результатом в 13,5 ГКал тепловой энергии или 15 000 кВтч электрической энергии. Таким образом обосновывается целесообразность применения солнечных коллекторов общей площадью 24 кв.метра в составе гелиоустановки с суммарным объемом баков-аккумуляторов 4000 л, при среднесуточном потреблении горячей воды 5-8 куб. м.

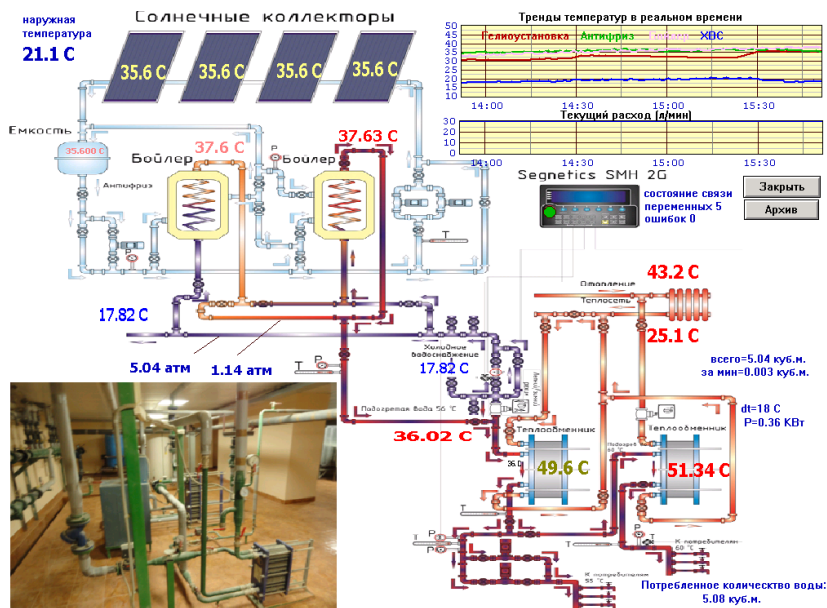


Рис. 5. Экранная форма АРМ диспетчера

Применение гелиоколлекторов в составе системы энергоснабжения БГТУ им. В.Г.Шухова позволяет не только следовать современной концепции энергоэффективности, но и построить мощную демонстрационную зону для получения практических навыков по техническим дисциплинам. Гелиоустановка входит в состав комплекса виртуальных лабораторий БГТУ им. В.Г.Шухова.

Список литературы:

1. Казаков, Г. В. Принципы совершенствования гелиоархитектуры / Г.В. Казаков. - Львов: Свит, 1990. - 152 с.: ил.
2. Белоусов А.В., Кошлич Ю.А. Технологические аспекты использования лабораторных установок с удаленным доступом в образовательном процессе. Электронная Казань - 2011: материалы третьей Междунар. науч.-практ. конференции, 19-21 апреля 2011 г. (Казань), редкол.: К.Н. Пономарёв (пред.) и др. - Казань : ЮНИВЕРСУМ, 2011. - 441 с. ISBN 978-5-9991-0158-7.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Белых А.Г., Князев А.В.,
Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доцент,
Бураков, А.В., аспирант

Военный авиационный инженерный университет

Требования, предъявляемые к бетону, как наиболее широко применяемому материалу аэродромных покрытий, определяют необходимость разработки физически обоснованной теории процессов его разрушения в различных условиях эксплуатации. Поскольку класс прочности бетона определяется проектным заданием, то одними из решающих критериев качества, определяющих надежность и составную ее часть — долговечность, являются деформативные свойства и трещиностойкость материала.

Существующие методы контроля характеристик трещиностойкости рассматривают их односторонне с позиций отдельно взятых методов и не позволяют всесторонне количественно оценивать физико-механические свойства бетонов. Предметом исследований является диагностическая информация, связанная с параметрами долговечности, прочности и физическими свойствами материалов использованных в конструкции покрытий аэродромных одежд.

Известно, что аэродромные покрытия обладают определенными свойствами, такими как: значительное сопротивление изгибающим нагрузкам, работа в стадии практически полностью обратимых (упругих) деформаций. Вследствие этого в качестве критерия предельного состояния бетонного конструктивного слоя аэродромной одежды оправдано принимать величину максимальных напряжений, вызванных совместным действием расчетной нагрузки и температуры.

$$\sigma_p + \sigma_m = R^H K_{одн.} K_{уст.}, \quad (1)$$

где σ_p и σ_m - напряжения от расчетных и температурных нагрузок соответственно; R^H – нормативный предел прочности бетона; $K_{одн.}$ - коэффициент однородности; $K_{уст.}$ – коэффициент усталости.

В работах Руфферта Г., Райхеля В. показана зависимость прочности сооружений с формирующимися в них внутренних трещин-трещин карбонизации, при этом скорость роста этих трещин и глубина

проникновения связана с возрастом бетона или сроком его эксплуатации.

Из исследований Горчакова Г.И., Конрада Д. известно, что через некоторый период после начала эксплуатации на поверхности аэродромного покрытия образуется мелкая сетка тонких усадочных трещин, вызванных усадкой от карбонизации. Углекислый газ CO_2 вступает в химическую реакцию с имеющимся в бетоне в свободном состоянии гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Образуются прочные и плотные соединения (карбонаты кальция), которые обладают высокими вяжущими свойствами, но имеют меньший объем, чем до вступления $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в реакцию. Это приводит к возникновению в поверхностном слое высоких напряжений и к образованию усадочных трещин. Из работы Свиридова Н.В. известно, что усадочные трещины образуют мелкую густо развитую сетку трещин на отдельных участках плит со стороны ячейки 20-40 мм, шириной до 0,1 мм и глубиной до 5 мм. Иногда трещины раскрываются на 1,5-2,0 мм и проникают в глубину до 30 мм. Усадочные трещины появляются как в начальный период твердения, так и в период эксплуатации.

Предложено несколько формул для расчета глубины усадочных трещин. Наиболее удобной является формула [2]:

$$x = \kappa_1 \left(\frac{1}{\sqrt{R_{\text{сж}}}} - \frac{1}{\kappa_2} \right) \sqrt{t_{\text{к}}} \quad (2)$$

где x – глубина проникновения трещин; $t_{\text{к}}$ – продолжительность карбонизации в месяцах, $R_{\text{сж}}$ – прочность бетона на сжатие, $\text{кгс}/\text{см}^2$; κ_1 и κ_2 – численные коэффициенты, характеризующие свойства бетона и равные соответственно $\kappa_1=250$, $\kappa_2=625$.

Формула (2) связывает глубину карбонизации (усадочных трещин) с плотностью бетона через его прочность на сжатие, имея в виду, что при прочих равных условиях прочность в основном является функцией плотности бетона и изменяется в зависимости от срока службы покрытия. На рисунке 1 показана зависимость глубины карбонизации от возраста цементобетона.

Вопросы прочности, деформирования и разрушения бетона с учетом его структуры рассматривались и обобщались в многочисленных работах отечественных и зарубежных авторов. По современным представлениям разрушение бетона представляет собой постепенный процесс, характеризующийся образованием и развитием, как вновь образующихся, так и уже имеющихся микротрещин. Такой процесс характерен для любого напряженно-деформированного

состояния бетона и развитие этого процесса сопровождается перераспределением напряжений в структуре и постепенным увеличением объема микро трещинообразования вплоть до образования одной или нескольких макротрещин разрыва и разделения бетонного элемента на отдельные части.

И.М. Грушко развил теорию прочности бетона при растяжении как квазирупкого неоднородного материала с позиций энергетической и кинетической концепций. По И.М. Грушко механизм разрушения бетона при растяжении представляется следующим. Вследствие высокой неоднородности напряженного состояния материала в местах концентрации нормальных напряжений возникают большие касательные напряжения, приводящие к пластическим деформациям. Если напряжения небольшие, то пластические деформации, выравнивая поле внутренних напряжений, способствуют некоторому упрочнению бетона, подобно дислокационному механизму упрочнения металлов.

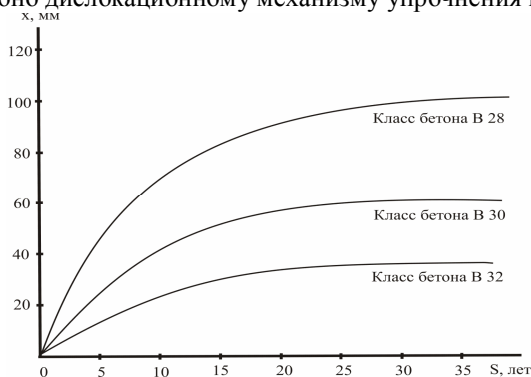


Рисунок 1 - Зависимость глубины карбонизации от возраста цементобетона с прочностью на сжатие 30, 40 МПа

С увеличением напряжений от внешней нагрузки в местах концентрации напряжений образуются поверхности скольжения с нарушенными связями - места зарождения микротрещин. Зародышами нарушения сплошности таких поликристаллических тел, как бетон, могут служить точечные дефекты и дислокации.

При приложении к телу нагрузки любое нарушение сплошности, в том числе и скопление дислокаций, становится концентратором напряжений и вызывает тот или иной характер разрушения. Формирование зоны с нарушенными связями способствуют также дефекты структуры в виде различного рода пор, неплотностей, усадочных микротрещин и т.п.

Рост напряжений от внешней нагрузки приводит к образованию в структуре микроскопической трещины докритических размеров. После возникновения подобных подвижных микротрещин наступает новый этап в разрушении бетона – этап формирования критической трещины, если уровень напряжений превышает предел длительной прочности. Возникшие докритические трещины, взаимодействуя друг с другом, создают критическую магистральную трещину, развитие которой подчиняется законам механики хрупкого разрушения. Начиная с некоторого (критического) напряжения, скорость распространения трещины лавинообразно нарастает, и бетонный образец разрушается.

С этих позиций $R_{дл}$ приближенно может рассматриваться как критическое напряжение, при котором трещины в квазихрупком теле теряют устойчивость и начинают двигаться. Величина этого критического напряжения определяется исходя из формулы Гриффитса:

$$R_{дл} \approx \sigma_k \sqrt{\frac{EG_{дл..}}{\pi l_r}} = \frac{k_{1c}}{\sqrt{\pi d_k}} \quad (3)$$

где E – модуль упругости; $G_{дл..}$ – удельная работа разрушения; l_k – предельная длина трещины; k_{1c} – критический коэффициент интенсивности напряжений.

В тоже время существуют методы диагностики позволяющие находить определенные величины, характеризующие свойства исследования бетона. На сегодняшний день существует только единственный метод, который внесен в ГОСТ, как метод определения предельного напряжения в материале конструкции до его разрушения. Известно из ряда работ советских и зарубежных ученых, что энергия акустической эмиссии пропорциональна величине начального нагружения до появления самого импульса, следовательно, она несет информацию об интегральном показателе (энергии) поглощенной железобетонной плитой в момент нагружения. В тоже время существует обратный процесс, характеризующий поглотительную часть баланса энергии при деформации, этот процесс также сопровождается выделением акустической энергии, связанной со свойствами цементобетона. Данный физический процесс – вторичная акустическая эмиссия. Измеряя ее параметры можно определить остаточный ресурс цементобетонного покрытия аэродромных конструкций.

На рисунке 1 показана структура цементобетонного камня с развитой сетью разветвленных трещин, которые появились в результате карбонизации с начальной стадии эксплуатации покрытия.

Очевидно, что по мере увеличения срока эксплуатации и согласно формуле 1 глубина и ширина трещины возрастает. Появление трещин снижает общую прочность конструкции, приводя к уменьшению его ресурсов.



Рисунок 2 – Структура цементобетонного камня с развитой сетью трещин карбонизации

Таким образом, стоит задача связать развитие трещин карбонизации с упругой энергией акустических импульсов несущих информацию о накоплении разрушений и связи с остаточным ресурсом покрытия. В основе построения лежит гипотеза:

1. Трещины являются концентрацией напряжений в конструкции, снижая предельное напряжение, приводящее к возникновению акустической эмиссии.

2. Увеличение трещин карбонизации снижает прочность конструкции.

3. Каждая трещина как концентрация при достижении напряжения генерирующего звуковую волну в сумме формирует спектр.

4. Спектр акустической эмиссии – это сумма всех звуковых или упругих колебаний сформированных в результате развития трещин при нагружении.

5. Упругие свойства материала, его состав изменяют спектральную плотность акустической эмиссии таким образом, чтобы средняя энергия не превышала накопленную за определенный период.

6. Надежность или остаточный ресурс покрытия являются функцией от количества микроразрушений в структуре бетона и как следствие возможно связь между спектральными энергетическими характеристиками акустической эмиссии при нагружении в процессе эксплуатации и спектральной плотностью.

Для построения связи необходимо определить граничные условия, в пределах которых возможно существование трещин карбонизации, возникновение предельных напряжений интегральным показателем между количеством нагружений и спектральной энергией импульсов.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ПОДЪЕЗДНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Беляев В.В., научн. сотрудник

*Военно-технический университет при Федеральном агентстве
специального строительства Российской Федерации*

События последних лет показали, что с каждым годом от воздействия природных стихий все чаще происходят разрушения искусственных сооружений (ИССО) на подъездных и автомобильных дорогах. В первую очередь это относится к ИССО, расположенным в горной и предгорной местности, на пойменных участках больших рек, в зонах значительного перепада максимальных годовых температур. Только на автомобильных дорогах России полному или частичному разрушению ежегодно подвергается в среднем около 200 мостовых сооружений, большая часть, из которых, относится к средним и малым мостам [1]. Не малую долю на общую протяженность сети автомобильных дорог России составляют водопропускные сооружения, которые в свою очередь требуют колоссальных затрат на их содержание, а в случае чрезвычайной ситуации и на восстановление [2]. Нарушение нормального транспортного движения влечет за собой значительный экономический и социальный ущерб.

Таблица 1. – Количество сооружений на автомобильных дорогах общего пользования федерального и регионального значения по России в целом

Вид дорог	Общая протяженность, км.	Мосты			Водопропускные трубы, всего шт.
		Всего мостов		в том числе деревянные, шт.	
		шт.	пог. м.		
Федерального значения	47098,8	5695	362666,7	56	42328
Регионального значения	533883,1	36332	1384940,9	6317	404517
Всего в Российской Федерации	580981,9	42027	1747607,6	6373	446845

Сравнительный анализ количества ИССО на сети автодорог России показывает, что наиболее распространенными сооружениями являются водопропускные трубы (таблица 1, рисунок 1). Отмечаю, что

водопрпускные трубы, выполненные из металлических гофрированных конструкций (МГК), значительно дешевле сооружений из железобетона. Например, при строительстве водопрпускных труб из МГК диаметром 1,0...3,0 м достигается экономия капитальных затрат в размере 10...30%. А общий объём их производства составляет до 60...70% от общего объёма производства МГК. Так же, при строительстве труб среднего диаметра до 3,0...4,0 м (альтернатива квадратным трубам 4x2,5 м и многоочковым трубам) экономия достигает 50%; при замене малых пролетных мостов на арки или трубы большого диаметра затраты на строительство снижаются в 2-4 раза [2, 3].

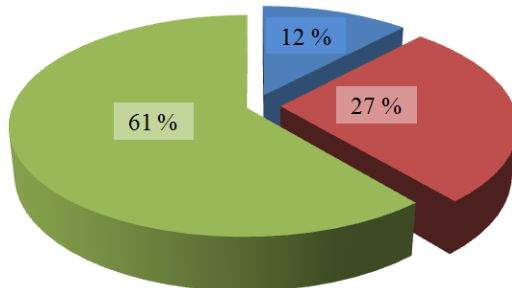


Рисунок 1. – Распределение мостовых сооружений на сети федеральных автомобильных дорог в зависимости от длины:

■ – большие мосты (свыше 100 пог.м.), ■ – средние мосты (от 25 до 100 пог.м.), ■ – малые мосты (менее 25 пог.м.)

В настоящее время на территории Республики Южная Осетия для восстановления транспортного движения применяются неэффективные конструкции из подручного материала (рисунок 2).



Рисунок 2. – Водопрпускная труба

на автомобильной дороге Бикар – Ленингор.

Авторским коллективом ВТУ при Спецстрое России, предлагаются конструкции из гофрированного металла для водопропуска (рисунок 3, 4) [4, 5].

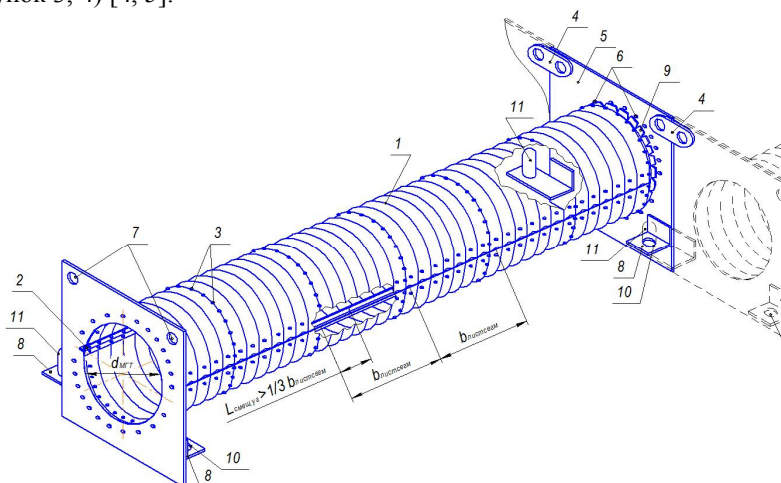


Рисунок 3. – Изометрический вид конструкции из гофрированного металла для водопропуска:

- 1 – отдельная металлическая гофрированная труба, 2 – уголки,
- 3 – болтовые соединения, 4 – накладка, 5 – фланец, 6 – продольные отверстия,
- 7 – монтажные отверстия, 8 – объединяющие уголки, 9 – хомут, 10 – штыри,
- 11 – отверстия для штырей

Конструкция из гофрированного металла для водопропуска, состоит из сборных крупноблочных элементов с двумя фланцами и продольными отверстиями (рисунок 3) [4]. Крупноблочные элементы выполнены в виде отдельных металлических гофрированных труб соединенных поперечно между собой через отверстия и продольно с уголками посредством болтовых соединений, образуя единую замкнутую конструкцию металлической гофрированной трубы. Каждая металлическая гофрированная труба собирается из отдельных листовых гофрированных сегментов окружности.

Арочная конструкция из гофрированного металла для водопропуска выполнена так же из сборных крупноблочных элементов с двумя фланцами (рисунок 4) [5]. Металлическая гофрированная арка выполнена из отдельных листовых сегментов соединенных продольно между собой швеллерами.

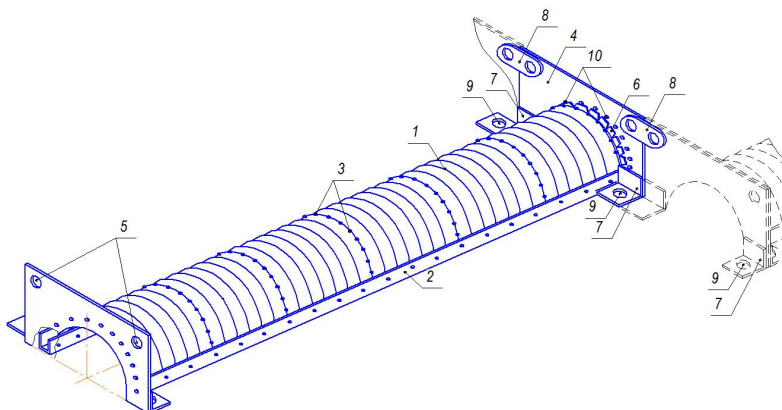


Рисунок 4. – Изометрический вид арочной конструкции из гофрированного металла для водопропуска:

- 1 – металлические гофрированные арки, 2 – швеллер, 3 – болтовое соединение, 4 – фланцы, 5 – монтажные отверстия, 6 – хомуты, 7 – объединяющие уголки, 8 – накладки, 9 – отверстия для штырей, 10 – продольные отверстия

Крупноблочные элементы выполнены в виде отдельных металлических гофрированных арок, а отдельные металлические гофрированные арки соединены между собой посредством болтовых соединений.

На входных и выходных частях крупноблочных элементов конструкций вертикально закреплены фланцы с монтажными отверстиями. С внутренней стороны фланцев на нижнем уровне металлической гофрированной арки расположены соединительные элементы выполненные в виде объединяющих уголков и пластин.

Монтаж конструкции в русло водотока производится в 100% готовности. Предлагаемые конструкции актуальны в чрезвычайных ситуациях (паводки, дождевые и ливневые воды, карчеходы и ледоходы, и т.д.), когда необходимо в кратчайшие сроки восстановить сооружение для пропуска движения через водную преграду.

Таким образом, применение конструкций из гофрированного металла для водопропуска подразделениями Спецстроя России, дорожно-строительными организациями, министерствами и ведомствами, занимающихся строительством и восстановлением ИССО на сети автодорог России позволят сократить стоимость и сроки монтажа сооружений, продлить эксплуатацию, проводить

производственные работы по монтажу конструкции на всех стадиях собственными силами с учетом имеющихся механизмов и техники.

Список литературы:

1. *Балахонов, А. В.* Перспективное применение металлических гофрированных конструкций в транспортном строительстве / А.В. Балахонов, В.В. Беляев // Научно-технический сборник: Вып.19. – Балашиха: ВТУ при Спецстрое России, 2010. – С. 58–63.
2. *Марьясов, А. Ю.* Статья на специальную тему / А.Ю. Марьясов, В.В. Беляев, С.В. Демишин // Научно-технический сборник: Вып.9., инв.№4936 – Балашиха: ВТУ при Спецстрое России, 2010. – С. 212–221.
3. Отчет по ИКШВИ ВТУ 2011 года. - Балашиха: ВТУ, 2011.
4. Беляев В.В., Ерофеев М.Н., Демишин С.В. и др. Патент на полезную модель №107175 – Заявл. №2011107987/03 от 02.03.2011, Опубл. 10.08.2011. – Бюл. №22.
5. Беляев В.В., Ерофеев М.Н., Балахонов А.В. и др. Патент на полезную модель №107174 – Заявл. №2011107986/03 от 02.03.2011, Опубл. 10.08.2011. – Бюл. №22.

ВИБРАЦИОННАЯ МЕЛЬНИЦА С НАКЛОННОЙ ПОМОЛЬНОЙ КАМЕРОЙ ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

**Богданов В.С., д-р техн. наук, профессор,
Гаврунов А.Ю., аспирант**

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

Проблема повышения эффективности тонкого и сверхтонкого измельчения материалов в настоящее время приобрела важное значение для многих отраслей промышленности: горной, строительной, химической, фармацевтической, сельскохозяйственной и др. в тонкодиспергированных материалах из твёрдого минерального сырья, которые используются в виде конечных продуктов и как сырьё при производстве строительных и других изделий и материалов.

Важное место среди машин, использующихся для получения тонкодисперсных порошков, занимают вибрационные измельчители. Вибрационные мельницы относятся к устройствам для измельчения различных материалов, рабочим процессом которых, является разрушение частиц измельчаемого материала, происходящее в результате колебательного движения загрузки, которая может двигаться в различных режимах. Движение мелющей загрузки изменяется в зависимости от конструктивных параметров мельниц, которые в разной степени обеспечивают высокую удельную производительность при относительно низких энергозатратах, регулируемую тонины продуктов помола, имеют значительно меньшие габариты по сравнению с барабанными мельницами.

Большинство существующих конструкций мельниц имеют одну или несколько помольных камер, которым сообщается колебательное движение. Корпус помольной камеры в таких случаях установлен статично на виброизоляторах и может располагаться горизонтально, вертикально или наклонно. При поступательном движении корпуса по круговой или эллиптической траектории с большими ускорениями, придаваемыми виброприводом мельницы, ее корпус передает загрузке колебательное движение, направленное перпендикулярно оси вибратора. Загрузка, в свою очередь, под действием движения внутренней поверхности помольной камеры совершает движение вокруг горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести загрузки, в сторону обратную движению вибратора. Также загрузки может

находиться во влажной, сухой или мокрой среде, не говоря о том, что схема работы может быть непрерывной и дискретной.

Общими недостатками конструкций вибрационных мельниц являются низкая производительность, при относительно высоком уровне энергопотребления и недостаточный уровень качества помола. Совершенствование вибрационных измельчителей направлено на повышение производительности и снижение энергоемкости агрегатов. Эти цели могут быть достигнуты рационализацией существующих конструкций мельниц, заменой отдельных узлов на более энергоэффективные и производительные, а также использованием новых конструкций агрегатов.

Одна из таких конструкций вибрационных мельниц была разработана и запатентована (патент РФ №105199 от 10 июня 2011 г.) как вибровращательная мельница, призванная избавиться от известных недостатков. Новая конструкция мельницы показана на рисунке.

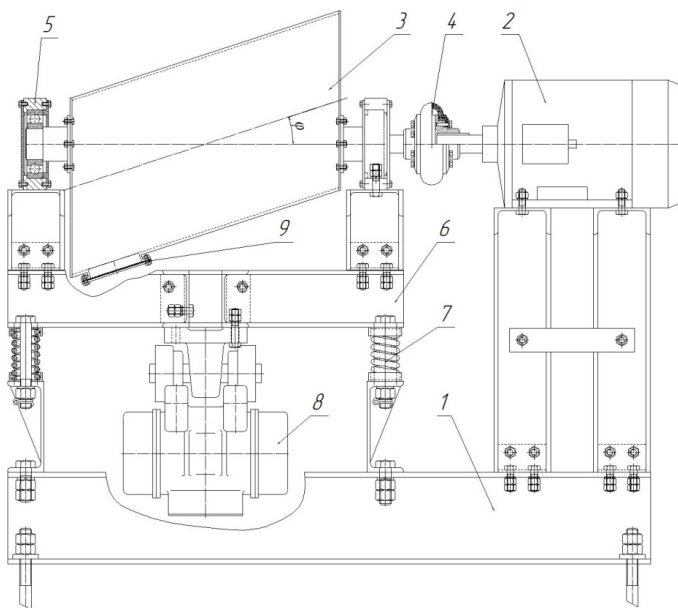


Рис. Конструкция вибровращательной мельницы

- 1 – рама; 2 – привод вращения; 3 – помольная камера; 4 – эластичная муфта; 5 – опорный узел; 6 – подвижная рама; 7 – виброизолятор; 8 – вибропривод; 9 – загрузочный люк

Она содержит, размещенные на неподвижной раме, подвижную раму, на которой установлена в подшипниковых опорах с возможностью вращения вокруг собственной оси камера помола с мелющими телами, и привод вращения помольной камеры. Камера помола выполнена в форме наклонного цилиндра, торцевые поверхности которого перпендикулярны оси её вращения, а его боковая цилиндрическая поверхность установлена под углом к горизонтальной поверхности подвижной рамы, причем угол наклона боковой поверхности цилиндра к горизонтальной поверхности подвижной рамы составляет менее 45° .

Камера помола свободно установлена в подшипниковых опорах, что позволяет ей с помощью привода вращаться вокруг своей оси, в свою очередь, опорные узлы представляют собой часть подвижной рамы, с закрепленным на ней виброприводом, опирающейся на неподвижную раму через виброизоляторы (пружины). Угол наклона боковой поверхности цилиндра к горизонтальной поверхности подвижной камеры должен быть больше угла естественного откоса смеси измельчаемого материала, но меньше 45° , что было выявлено опытным путём, например, при угле естественного откоса смеси, равном $18-20^\circ$, угол наклона боковой поверхности цилиндра составит 30° .

Вибровращательная мельница работает следующим образом. Через загрузочный люк в помольную камеру загружают мелющие тела. Исходный материал через загрузочный люк подается в помольную камеру. Вибропривод создает колебания помольной камеры по эллиптической траектории, одновременно с этим, привод вращает помольную камеру. Мелющие тела оказывают на измельчаемый материал ударное и истирающее действие, идет непрерывное перемешивание материала за счет криволинейной траектории движения загрузки по образующей помольной камеры. Через определенное опытным путем время, через разгрузочный люк готовый материал выгружается из помольной камеры.

Эффективность работы вибрационных мельниц определяется механическими свойствами материала, частотой и амплитудой колебаний помольной камеры, размерами и твердостью шаров, объемом помольной камеры, степенью заполнения ее мелющими телами и измельчаемым материалом, способом удаления измельчаемого материала и механикой движения шаров.

Благодаря инновационной форме помольной камеры, которая позволяет загрузке двигаться возвратно-поступательно в продольном

направлении, в процессе работы материал эффективно измельчается в режиме сложного циркуляционного и вибрационного движения загрузки. Используя данную конструкцию, производительность мельницы существенно повышается за счет меньшего времени нахождения материала в помольной камере, а также вследствие отсутствия дебалансного вала в центральной части, за счет чего достигается увеличение общего объема помольной камеры.

Совмещение двух традиционных методов измельчения в одном агрегате позволяет снизить энергозатраты на тонкое и сверхтонкое измельчение различных материалов, которые широко используются в производстве строительных материалов, горно-перерабатывающей, химической и других отраслях промышленности, а также позволяет увеличить мощность, сообщаемую загрузке, что интенсифицирует ее движение и способствует увеличению производительности мельницы и степени измельчения материала. Другими словами, возникает синергизм различных механизмов измельчения, создающий наиболее благоприятные условия для тонкого и сверхтонкого вибропомола различных материалов.

Список литературы:

1. *Лесин, А. Д.* Вибрационное измельчение материалов / А.Д. Лесин. – М.: Промстройиздат, 1957. – 115 с.
2. *Бауман, В. А.* Вибрационные машины и процессы в строительстве / В.А. Бауман, И.И. Быховский. - М.: Высшая школа, 1977. - 255 с.
3. *Богданов, В. С.* Процессы в производстве строительных материалов и изделий / В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко. - Белгород: «Везелица», 2007. – 512 с.
4. *Барский, М. Д.* Оптимизация процессов разделения зернистых материалов / М.Д. Барский. – М.: Недра, 1978. – 168 с
5. *Блехман, И. И.* Вибрационная механика / И.И. Блехман. - Наука, 1997. – 397 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ИНЕРЦИОННОГО ГРОХОТА С ГЕЛИКОИДНОЙ ПРОСЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

**Богданов В.С., д-р техн. наук, профессор,
Латышев С.С., канд. техн. наук, доцент,
Рудакова Е.В., аспирант**

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

Грохочение является одним из старейших методов разделения частиц материала по крупности в истории человечества. Не смотря на длительную историю развития технологии грохочения, задачи по повышению эффективности этого процесса и увеличению производительности грохотов являются актуальными.

В ходе работ по совершенствованию процессов тонкого грохочения в машинах инерционного типа предложена конструкция грохота с геликоидной просеивающей поверхностью.

С целью проведения исследований данного агрегата разработана и создана лабораторная установка инерционного грохота с геликоидной просеивающей поверхностью (рисунок 1).



Рисунок 1. Лабораторная установка инерционного грохота с геликоидной просеивающей поверхностью

Корпус грохота приводится в колебательное движение вибратором направленных колебаний ИВ-101Б. Направление колебаний вертикальное, совпадает с осью геликоида.

Частота колебаний регулируется с помощью частотного

преобразователя в пределах 0-50 Гц, что соответствует 0-3000 об/мин. Возмущающая сила в номинальном режиме (3000 об/мин) составляет 2,5-3,4 кН. Изменение возмущающей силы может осуществляться ступенчато путем изменения взаимного расположения неподвижного и поворотного дебалансов на обоих концах вала.

В этом грохоте (рисунок 2) короб 1 выполнен в виде спирали с вертикальной осью. В коробе устанавливается геликоидная просеивающая поверхность 2, которая разделяет короб на две части: надрешетную (а) и подрешетную (б).

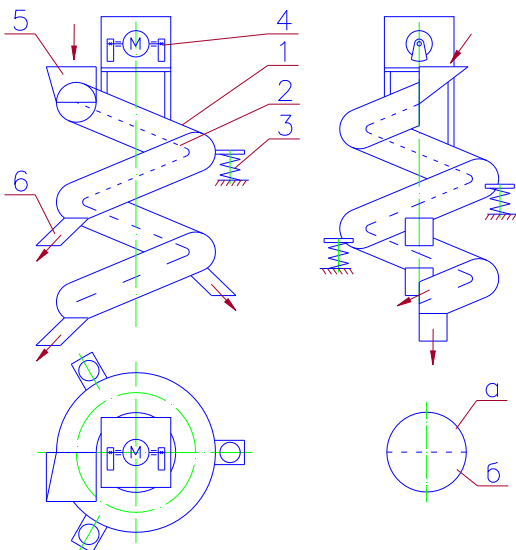


Рисунок 2. Схема инерционного грохота с геликоидной просеивающей поверхностью

Короб устанавливается относительно рамы на пружинах 3 и приводится в вибрационное движение с помощью вибратора 4.

В верхней части короба имеется загрузочный бункер 5, через который осуществляется подача исходного материала в надрешетное пространство.

Просеивающая поверхность может быть изготовлена из набора сит установленных последовательно.

По длине короба размещены отводные патрубки 6, которые предназначены для отвода разных фракций из подрешетного пространства.

Исходный материал подается через бункер 5 в надрешетную часть короба и под действием вибрации и сил тяжести перемещается вдоль просеивающей поверхности 2. Перемещение материала сопровождается его классификацией. Материал прошедший через просеивающую поверхность разгружается через отводные патрубки 6, материал не прошедший разгружается в нижней части короба. Также из нижней части короба разгружается материал, отсортированный на последнем участке просеивающей поверхности. Повышению эффективности процесса грохочения способствует расслоение материала под действием центробежных сил, появляющихся при движении материала по криволинейной траектории.

К преимуществам конструкции можно также отнести:

- компактность (по сравнению с классическим исполнением схемы от меньшего к большему);
- удобство размещения бункеров сбора различных фракций;
- удобство доступа к просеивающей поверхности с целью ее ремонта и обслуживания.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ МОЛОТКОВАЯ МЕЛЬНИЦА. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

**Богданов В.С., д-р техн. наук, профессор,
Раков А.М., аспирант**

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

Измельчение является одним из наиважнейших этапов при производстве строительных материалов. Одним из самых эффективных способов измельчения является измельчение ударом. По этому принципу работают молотковые измельчители как с горизонтальным, так и с вертикальным расположением ротора [1].

Нами была разработана конструкция вертикальной молотковой мельницы в которой значительно увеличивается эффективность измельчения за счет изменения конструкции ротора.

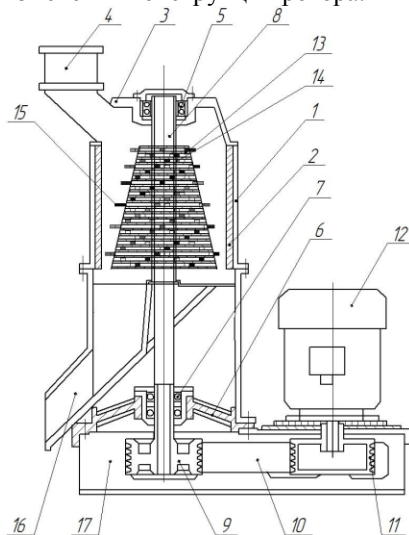


Рисунок 1. Схема молотковой мельницы

Мельница состоит из вертикального цилиндрического корпуса 1, внутренняя рабочая поверхность которого защищена зубчатыми отбойными бронеплитами 2. Верхняя крышка 3 корпуса имеет загрузочное отверстие 4, а в центре верхней крышки имеется

подшипниковый узел 5. В нижней части корпуса 1 в ступице 6, размещен подшипниковый узел 7. Подшипниковые узлы 5 и 7 расположены соосно. В них установлен вертикальный ротор 8, который приводится во вращение посредством клиноременной передачи от электродвигателя 9.

Под зоной измельчения располагается разгрузочный патрубок 14. Вся конструкция мельницы закреплена на раме 17 и представляет собой компактную установку для измельчения различных материалов.

Ротор (рис. 2) представляет собой закрепленные на вертикальном валу 1 диски 2 разного диаметра. Диски расположены «от большего к меньшему», начиная с нижней части вала и образуют усеченный конус. На дисках закреплены молотки 3. Между дисками установлены регулировочные шайбы 4. На каждом ярусе устанавливается, по четыре молотка, которые на каждом из последующих ярусов смещаются, образуя ряды винтовых линий.

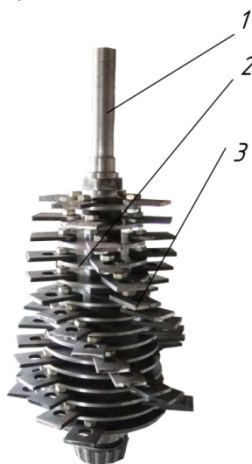


Рисунок 2. Ротор мельницы

Ротор 13 приводится в движение посредством связи ременной передачи от электродвигателя 12. Подлежащий измельчению материал поступает в корпус 1 мельницы через загрузочное устройство 4. Попав в верхнюю часть камеры измельчения, материал начинает разрушаться под воздействием ударных нагрузок молотков 15, закрепленных на роторе 13, кроме того, частицы измельчаемого сырья ударяются о зубчатую внутреннюю поверхность измельчительной камеры, а так же

от соударений друг с другом, что усиливает эффективность измельчения и ускоряет процесс измельчения.

Молотки 15 на роторе 13 расположены по нисходящей траектории черырёхзаходного винта и при вращении ротора молотками образуются четыре спирально-кольцевые потока, которые способствуют выходу из рабочей камеры мельницы достаточно измельченного материала, избегая его переизмельчения и, в тоже время, продолжают измельчать частицы недостаточно измельченного сырья. Кроме того, образованные молотками 15 спирально-кольцевые потоки, способствуют изменению траектории движения разрушаемого материала в рабочей камере и сырье, перемещаясь вслед за потоком, образованным вращением ротора 13, дополнительно разрушается истиранием при столкновении друг с другом и от контакта с бронеплитой. Постепенно, шаг за шагом, измельчаясь, сырье проходит через камеру измельчения и выходит из мельницы через разгрузочное устройство 16.

Однако, большей эффективности работы этой мельницы можно добиться если она будет работать в замкнутом цикле. Технологическая схема молотковой мельницы с рециркуляцией материала (замкнутый цикл) (рис. 3) позволяет значительно снизить образование пылевидных частиц за счет установки сепаратора.

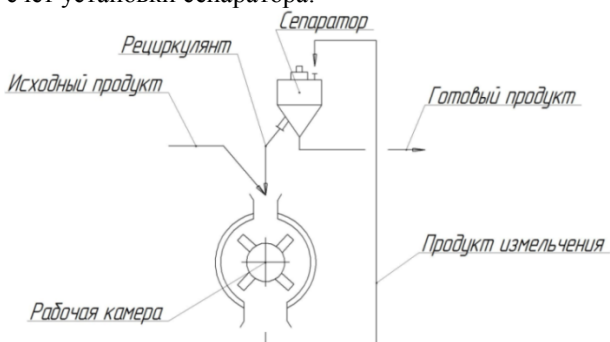


Рисунок 3. Технологическая схема с рециркуляцией материала (замкнутый цикл)

Несмотря на то, что в рабочую камеру поступает как исходный материал, так и рециркулянт, все же происходит переизмельчение материала. Этот недостаток устранен в технологической схеме показанной на рис 3.

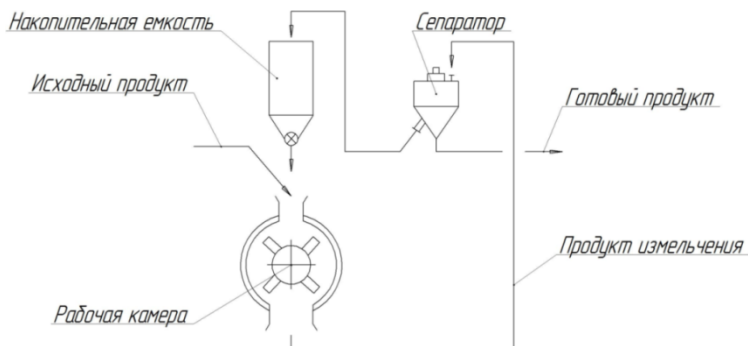


Рисунок 3. Технологическая схема с рециркуляцией и наличием накопительной емкости рециркулянта (замкнутый цикл)

В этой технологической схеме исходный и недоизмельченный продукт поступают в рабочую камеру поочередно за счет накопительной емкости рециркулянта.

Схема работы мельницы представленная на рис. 4 дает возможность не смешивать исходный продукт и рециркулянт в рабочей камере за счет его разделения по длине на ряд параллельных секций, а так же использования нескольких сепараторов. Основной недостаток этой схемы – возникает необходимость в использовании дополнительного оборудования, вследствие чего происходит увеличение себестоимости готового продукта.

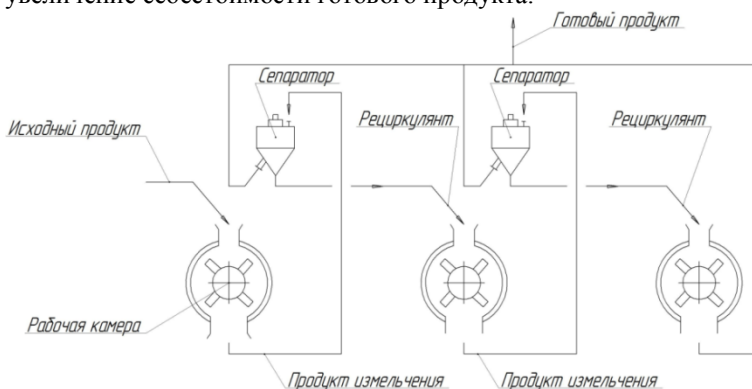


Рисунок 4. Технологическая схема с многостадийной рециркуляцией (замкнутый цикл)

Кроме того в молотковых мельницах есть возможность совмещать измельчение влажного материала с одновременной его подсушкой. Довольно часто вспомогательное оборудование помольного цикла используется так же для организации сушки с целью повышения его эффективности. Расход тепла при этом остается примерно таким же, как и в сушильных барабанах. Сушка производится во время измельчения, что улучшает теплообмен. В то время как при сушке в сушильных барабанах в кусках породы может оставаться капиллярная влага.

Список литературы:

1. *Шуберт, Г.* Подготовка металлических вторичных материалов (ресурсы, классификация, измельчение) / Г. Шуберт. – Москва: Металлургия, 1989. – 359 с.
2. *Серго, Е. Е.* Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / Е.Е. Серго. - М., 1985.
3. *Барабашкин, В. П.* Молотковые и роторные дробилки (конструкции, расчет, монтаж и эксплуатация) / В.П. Барабашкин. – Москва: Госгортехиздат, 1963. – 131 с.
4. *Сундеев, А. А.* Работа молотковой дробилки в замкнутом цикле / А.А. Сундеев // Сб. научн. тр. – Воронеж, 1987. - С. 30-40.
5. Lasher R.E. Hammer mill: - American Miller. – 1959. - №3. - p.18.

МОЛОТКОВАЯ ДРОБИЛКА С ПЕРЕМЕННЫМ РАДИАЛЬНЫМ ЗАЗОРОМ МЕЖДУ МОЛОТКОМ И ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ

**Богданов В.С., д-р техн. наук, профессор,
Раков А.М., аспирант**

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

Одной из разновидностей машин, встречающихся на заводах ПСМ, являются измельчители ударного действия, а именно молотковые и роторные дробилки. В настоящее время все популярнее становятся молотковые дробилки с вертикальной осью вращения ротора, т.к. считаются наиболее экономичными. В основу таких измельчителей положен принцип многоярусной дробилки ударного действия с вертикальным расположением ротора.

Общеизвестный факт, что на качество готового продукта оказывает немалое влияние радиальное расстояние между концом молотка и внутренней поверхностью рабочей камеры (рис. 1). Однако по мере износа рабочих элементов (молотков) этот зазор будет увеличиваться, что будет оказывать отрицательное влияние на качество готового продукта. В связи с этим возникнет необходимость в замене изношенных молотков, а это повлечет за собой простоя оборудования, что в свою очередь приведет к финансовым затратам.

Проанализировав эту проблему, было решено найти ее эффективное решение. Мы предлагаем конструкцию молотковой дробилки с вертикальной осью вращения ротора, в которой реализована регулировка зазора между молотками и внутренней рабочей поверхностью.

Молотковая дробилка (рис. 1) состоит из цилиндрического корпуса 1, верхней крышки 2 с загрузочными отверстиями 3, нижней крышки 4 с разгрузочным патрубком 5. В центральной части верхней и нижней крышек расположены подшипниковые узлы 6, а в них вращается вертикальный ротор, который состоит из вала 7, на поверхности которого равномерно расположены диски 8 на которых шарнирно-закреплены молотки 9. По внутренней поверхности корпуса 1, напротив каждого из ярусов с молотками закреплены футеровочные плиты в виде конусных колец 10. В нижней части вала установлен шкив 11, связанный клиноременной передачей 12 со шкивом 13 электродвигателя 14. Вся конструкция закреплена на раме 15.

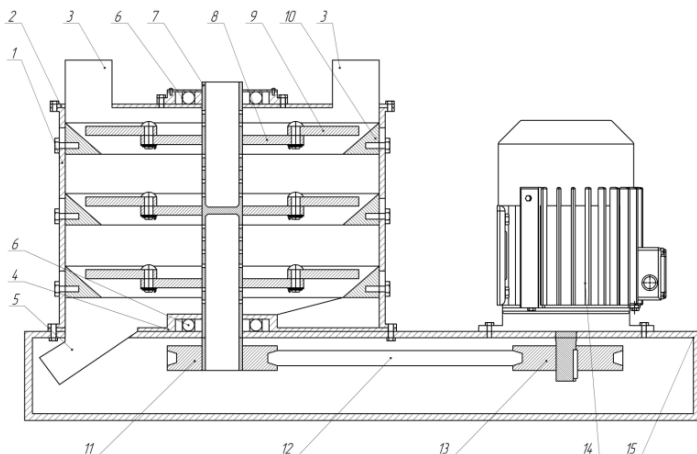


Рисунок 1. Принципиальная схема дробилки

Молотковая дробилка работает следующим образом. Ротор приводится в движение посредством ременной передачи от электродвигателя 14. Подлежащий измельчению материал поступает в рабочую камеру через загрузочные отверстия(патрубки) 3 и начинает разрушаться от ударов закрепленных на роторе молотков 9, а отраженные от молотка куски материала совершают удар об футеровочные плиты 10, за счет чего происходит дополнительное его разрушение. Разрушения сырья происходит так же за счет удара кусков друг о друга, а так же за счет истирания о зубчатую поверхность футеровочных плит 10. Далее материал попадает на последующие ярусы с молотками, где с ним происходят аналогичные процессы. Измельченный материал покидает рабочую камеру дробилки через разгрузочный патрубок 5.

Футеровочные плиты 10 выполненные в виде колец, с внутренней стороны имеющих зубчатую конусную поверхность (рис.2), которые основанием с большей площадью направлены книзу имеют возможность перемещения по вертикальной оси дробилки. Благодаря этой функции появляется возможность регулирования зазора между молотком и футеровкой. Тем самым по мере износа рабочих поверхностей молотка можно настроить оптимальный радиальный зазор между концом молотка и рабочей поверхностью футеровки.

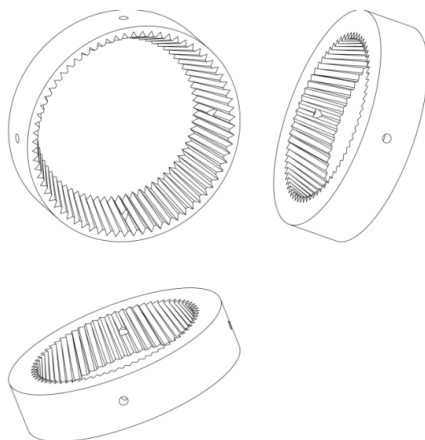


Рисунок 2. Футеровочные плиты

В молотковых дробилках с вертикальной осью вращения ротора материал попадая в камеру измельчения начинает двигаться вслед за потоком воздуха образываемый ротором, так же на материал действует сила тяжести и куски начинают перемещаться внутри камеры по винтовой траектории, что уменьшает время пребывания частиц в рабочей камере. Это свойство может сказываться как положительно, так и отрицательно на качестве готового продукта. Благодаря конусным кольцам с зубчатой рабочей поверхностью появилась возможность задерживать измельчаемый материал в зоне измельчения. Скорость разогнанных частиц материала будет гаситься о зубчатую поверхность футеровочного кольца. От взаимодействия с футеровочным кольцом частицы будут интенсивно разрушаться, какая то часть их будет отражаться от поверхности кольца и снова попадать в зону измельчения.

Список литературы:

1. *Клушанцев, Б. В.* Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации: Учебник для строительных вузов / Б.В. Клушанцев, А.И. Косарев, Ю.А. Муиземнек. - М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
2. *Кутынка, Е. И.* Технологические возможности дробилок ударного действия с вертикальным ротором / Е.И. Кутынка, Л.А. Сиваченко // *Материалы межвузовского сборника статей.* – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2008. - С. 83-88.
3. Заявка на полезную модель № 2010138879.

РЕЦИРКУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ШАРОВЫХ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ

**Богданов В.С., д-р техн. наук, профессор,
Фадин Ю.М., канд. техн. наук, профессор,
Латышев С.С., канд. техн. наук, доцент**

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

Для производство цемента используются мокрый, сухой и комбинированный способы. В РФ и странах постсоветского пространства в основном используется мокрый способ производства.

Производство портландцемента очень энергоемкое. Затраты электроэнергии на тонну цемента, при мокром способе производства, составляют около 120 кВт·ч, в том числе:

- на дробление сырья – 5 кВт·ч/т;
- на помол сырья – 10 кВт·ч/т;
- на помол клинкера и добавок до 45 кВт·ч/т;
- на обжиг – 35 кВт·ч/т;
- прочее – 25 кВт·ч/т.

Сокращение удельных затрат электроэнергии является одной из актуальных задач цементных заводов.

Суммарно на процессы измельчения расходуется более 60 кВт·ч/т, при этом наиболее энергоемким является помол клинкера и добавок.

Для помола в цементной отрасли используются шаровые барабанные, вертикальные валковые, прессвалковые и прочие виды мельниц.

Наибольшее распространение при помоле клинкера и добавок получили шаровые барабанные мельницы (ШБМ). Основными их преимуществами являются: высокая производительность; простота конструкции, эксплуатации и управления; высокая надежность. Одним из главных недостатков является низкий КПД, (не превышает 5 %). Основные причины низкой энергетической эффективности: потери энергии на выделение тепла и шум (до 90 %); наличие зон с низкой интенсивностью движения мелющих тел; длительное пребывание мелких частиц в зоне измельчения.

Не смотря на низкий КПД на ближайшие годы ШБМ останутся основным помольным агрегатом для помола клинкера и добавок.

Повышения эффективности процесса измельчения в ШБМ и снижения удельных расходов электроэнергии предлагается достичь

путем организации рецикла внутри помольного агрегата шароматериальной загрузки.

Для этого разработаны и апробированы такие конструктивные решения, как наклонная межкамерная перегородка (НМП), внутримельничное классифицирующее устройство (ВКУ), а также комплексное решение объединяющее НМП и ВКУ.

На рисунке 1 показана схема шаровой барабанной мельницы, оборудованной наклонной межкамерной перегородкой (НМП).

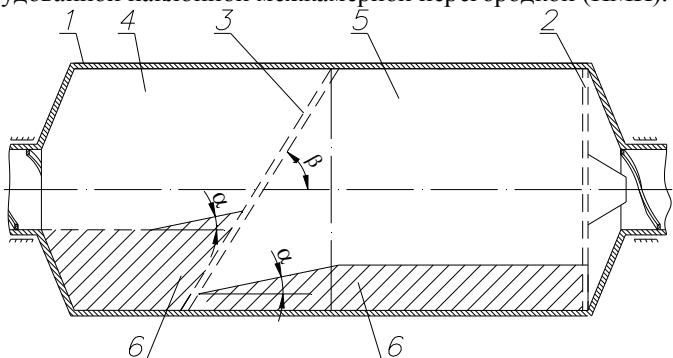


Рисунок 1. Схема шаровой барабанной мельницы с наклонной межкамерной перегородкой: 1 – барабан мельницы; 2 – разгрузочная решетка; 3 – наклонная межкамерная перегородка; 4 – камера грубого помола; 5 – камера тонкого помола; 6 – шароматериальная загрузка камер помола

Данное решение позволяет интенсифицировать движение мелющих тел и их воздействие на измельчаемый материал.

Это позволяет снизить коэффициент загрузки мелющими телами на 20 - 30 %, удельные энергозатраты на 10 - 12%, а также снизить удельный расход мелющих тел.

На рисунке 2 показана ШБМ оборудованной внутримельничным классифицирующим устройством (ВКУ).

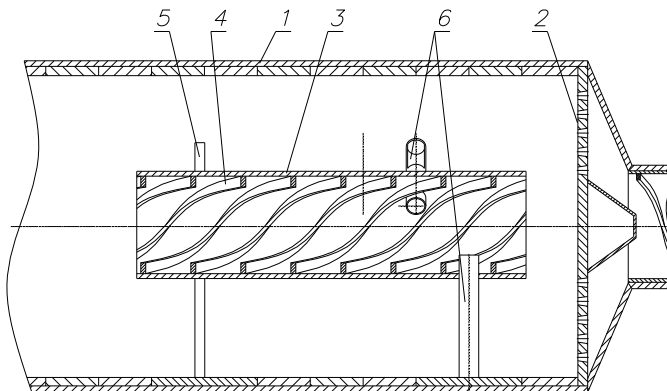


Рисунок 2. Схема шаровой барабанной мельницы с внутримельничным классифицирующим устройством:

- 1 – барабан мельницы; 2 – разгрузочная решетка; 3 – труба рецикла;
4 – винтовая поверхность; 5 – стойки; 6 – лифтеры

Внутримельничное классифицирующее устройство позволяет повысить производительность ШБМ на 5-10 %; снизить удельный расход электроэнергии на 9-13 %; снизить массу используемых мелющих тел на 30-40 %; стабилизировать процесс измельчения в ТШМ.

Комплексное решение включающее НМП и ВКУ показано на рисунке 3

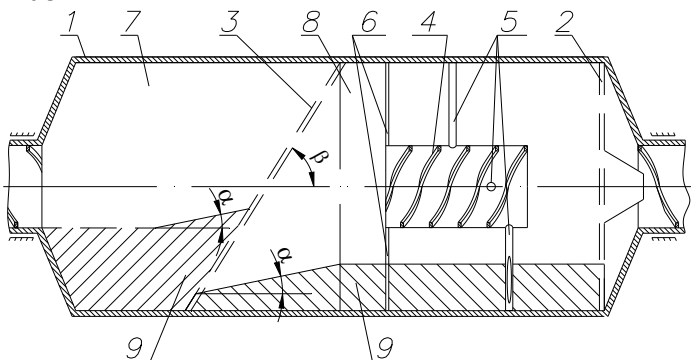


Рисунок 3. Схема ШБМ с ВКУ и НМП

Комплексное использование ВКУ и НМП позволяет: снизить коэффициент загрузки с 0,3 до 0,18; снизить потребляемую мощность на 30 - 35 %; снизить удельный расход энергии до на 30 - 35 %.

На конструкцию ШБМ с рассмотренными устройствами получено более 70 патентов РФ и за рубежом.

Предлагаемые технические решения в течение 10 лет использовались на Карачаево-Черкесском, Белгородском, Старооскольском, Новороссийском, Кричевском, Красносельском, Михайловском и на других цементных заводах (более 70 мельниц).

Экономический эффект обеспечивается за счет: снижения удельного расхода энергии на величину до 30 %; уменьшения массы мелющих тел до 50 %.

Годовая экономия на одну мельницу 4x13.5 м составляет: электроэнергии – около 3 млн. кВт·ч; мелющих тел – не менее 300 тонн в год.

КАЧЕСТВЕННЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН – ЭТО КАЧЕСТВЕННЫЕ ДОРОГИ

**Богомолов А.А., канд. техн. наук, профессор,
Корнеев А.С., аспирант**

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

Анализ состояния отечественных автомагистралей с асфальтобетонным покрытием характеризуется такими красноречивыми цифрами:

- лишь 38,7 % автодорог России удовлетворяют предъявляемым требованиям, а 62,2 % - не удовлетворяют;
- убытки государства из-за бездорожья и низкого качества существующих дорог достигают 500 млрд. руб. в год;
- в 1999 году в стране было построено 12 тыс. км дорог, а в 2004 году всего около 1 тыс. км;
- лишь 20 % всех дорог России обеспечивают круглогодичное движение по ним, а средняя скорость движения составляет около 25 км/ч.

По нашему мнению такое обстоятельство с Российскими дорогами объясняется тремя группами причин: социальными, техническими и научными.

Социальные причины, поставившие отрасль в столь плачевное состояние, формулировались в период перестройки, до которой дорожно-строительная отрасль была одной из прогрессивных и достаточно «денежной». Когда же властвующие структуры наводнились мошенниками, махинаторами и попросту жуликами, средства, выделяемые на строительство и реконструкцию дорог (достаточно приличные, исчисляемые миллиардами рублей), стали не доходить до своего назначения, а чиновничий аппарат стал всемерно обогащаться и расширяться. Дорожно-строительные предприятия (ДСУ, ДРСУ, ДСПМК и др.) становились все более худосочными и недееспособными – низкие зарплаты, старая техника в недостаточных количествах, отсутствие квалифицированных кадров, нерегулярное и недостаточное финансирование – все это привело к упадку, а порой и к банкротству эти предприятия. Стало некому, нечем и не за что строить дороги.

Исправить эту ситуацию в кратчайшие сроки чрезвычайно трудно, но надо!

Технические причины, повлиявшие на развал отрасли дорожного строительства, сводятся к полному отсутствию сбалансированной структуры парка дорожно-строительных машин, используемых на дорожном строительстве.

Это означает, что на строительстве дорог работают механизированные отряды, укомплектованные недостаточным количеством разнообразных машин с несбалансированными технико-экономическими характеристиками, как правило, морально и физически устаревших. А происходит это от того, что машиностроительная отрасль в полной мере не обеспечивает современной техникой парк дорожно-строительных машин. Попытка решить вышеизложенную проблему с помощью зарубежной техники еще более усугубляет положение дел, так как отечественные машины, входящие в состав дорожно-строительных отрядов, тормозят работу высокопроизводительной зарубежной техники, да и обходится эта техника не дешево.

Дорожно-строительные материалы, используемые для строительства дорог, очень часто не отвечают, предъявляемым к ним требованиям, что не может не сказываться на качестве дорожных покрытий и себестоимости их строительства. Вот видимо почему стоимость строительства 1 км 4-х полосной автомагистрали в России составляет 12,9 млн. руб., а в КНР 2,9 млн. руб., в Бразилии 3,6 млн. руб.

Ну и наконец научные проблемы. Последние два десятилетия в нашей стране характеризуются заметным спадом технических наук, в том числе в дорожно-строительной отрасли.

Не вдаваясь в подробности причин этого спада, они общеизвестны, отметим, что НИР в этой отрасли ведутся и не безуспешно.

Остановимся кратко на результатах НИР, проводимых в БГТУ им. В.Г. Шухова по направлению «Оптимизация процесса смешивания и смесительных машин» и, в частности, по повышению качестваготавливаемых строительных смесей.

Характерными видами износа и деформаций дорожных покрытий, делающими их непригодными для нормальной эксплуатации, являются образование на дорожном полотне колеиности, выбоин и трещин.

Известно, что колея на поверхности дорожного покрытия возникает под воздействием внешних нагрузок по таким причинам как:

- недостаточная сдвигустойчивость верхнего слоя покрытия;
- необратимое деформирование нижнего слоя покрытия;

- необратимое деформирование нижних слоев основания и грунта земляного полотна.

Справедливо утверждение о том, что остаточные деформации, возникающие из-за недостаточного сопротивления сдвигу верхнего и нижнего слоя покрытия, указывают на низкие показатели сдвигоустойчивости асфальтобетона, к которым относятся коэффициент внутреннего трения, вязкость, теплостойкость и коэффициент пластичности. Указанные показатели в значительной степени зависят от состава и структуры используемого асфальтобетона и способны изменяться в широких пределах в зависимости от зернового состава и качества минеральных материалов, содержания и качество битума, используемых полимерных и минеральных добавок в смеси.

В минеральную часть асфальтобетонной смеси входят щебень или гравий, песок и минеральный порошок. Каждый из этих компонентов выполняет определенную роль в формировании свойств асфальтобетона. Щебень является высокопрочным, структурообразующим компонентом, заполняющим наибольший объем смеси. Песок заполняет основной объем пор, оставшихся в щебеночном каркасе, а также способствует повышению подвижности асфальтобетонной массы, ее удобоукладываемости, так как способствует переводу трения скольжения в трение качения. Минеральный порошок в отличие от песка, и особенно от щебня, обладает высокоразвитой поверхностью, а его частицы выступают в роли активных адсорбентов и структурных центров.

При нагружении проезжей части дорожного полотна основным элементом, передающим нагрузку на его основание, является щебень и находящийся в пустотах между ним песок. На рис. 1 показана схема передачи нагрузки на основании дорожного полотна и возможные зоны деформации асфальтобетона. При этом в случае наличия контакта между частицами крупного заполнителя деформация монолита практически отсутствует; наличие песчаной прослойки, в силу ее подвижности, создает условия для деформации монолита, величина которой пропорциональна суммарной толщине песчаных прослоек между частицами щебня. Таким образом, при увеличении песчаных прослоек различных размеров возрастает подвижность слоев, а их деформация может привести к разрыву сплошной среды и появлению пустот и трещин как внутри, так и на поверхности дорожного полотна. Неравномерная деформация асфальтобетона причина появления выбоин и трещин на поверхности дороги, которые часто приводят к

возникновению дорожно-транспортных происшествий, а на их устранение ежегодно тратится миллионы рублей.

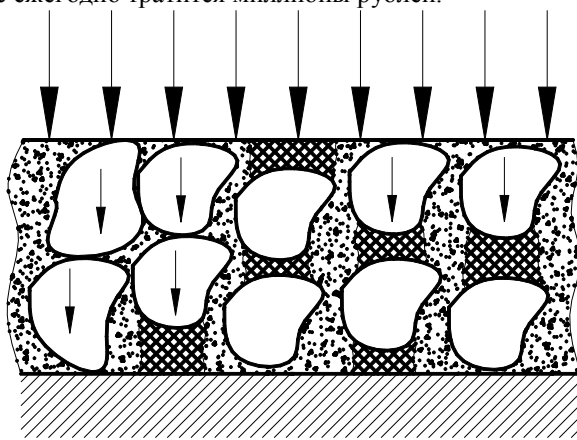


Рис. 1. Зоны деформации монолита асфальтобетона под нагрузкой

Необходимо готовить такие смеси, которые могли бы обеспечить максимально однородную структуру при их укладке в дорожное полотно при минимальных затратах времени и энергии.

В наших исследованиях [1] за критерий характеризующий качество асфальтобетонных смесей принята степень сепарации, обратная величина однородности, которая в начале равна единице, а ходе процесса смешивания стремится к нулю. Для описания данного критерия применительно для процесса приготовления асфальтобетонных смесей в двухвальных смесителях циклического действия была разработана математическая модель, позволяющая определить рациональные технологические параметры в частности частоту вращения лопастных валов и время смешивания компонентов для обеспечения заданного качества асфальтобетонной смеси в смесителях с определенными геометрическими параметрами.

$$S = a + (S_{\max} - a)e^{-\frac{n^3 B^2 r \gamma z}{P}} \quad (1)$$

где a – постоянная минимальная величина степени сепарации смеси, которую можно получить при определенном способе смешивания и идеальных условиях массообмена;

S_{\max} – максимальное значение степени сепарации смеси, отвечающие началу процесса смешивания;

t – продолжительность смешивания, с;
 n – частота вращения лопастных валов, с⁻¹;
 z – количество составляющих движения материалов в смесителе;
 p – удельного сопротивления движению лопасти в смеси, Па;
 γ – плотность смеси, кг/м³;
 B – ширина смесительной камеры, м.

В качестве рекомендаций работникам асфальтобетонных заводов необходимо разработать номограммы для определения выше перечисленных параметров графическим методом без использования вычислительной техники.

Особенностью данных исследования являлось то, что при выборе значений технологических параметров учитывались реологические свойства приготавливаемых смесей, которые характеризовались величиной удельного сопротивления движению лопасти в смеси. По мнению авторов, удельное сопротивление наиболее рациональная характеристика для строительных смесей, так как может описывать реологические свойства и сухих смесей и материалов на основе различных вяжущих.

Реализация проблемы получения высокооднородных смесей позволит в значительной степени повысить качественные показатели дорожных покрытий, их надежность и долговечность.

Выпускаемые отечественные и зарубежные асфальтосмесители не могут обеспечить требуемой однородности приготавливаемых смесей. Нами разработан и испытан в лабораторных условиях механизм смешивания и приготовления высокооднородных смесей в смесителях с горизонтальными лопастными валами, обеспечивающий интенсивный массообмен во всем объеме смешиваемых материалов.

Список литературы:

1. *Богомолов, А. А.* Влияние однородности асфальтобетонных смесей на прочность дорожных покрытий / А.А. Богомолов, А.С. Корнеев // ИНТЕРСТРОЙМЕХ 2010: сб. докл. Междунар. научн.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – Т.3. – С. 39–42.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРУИ ГИДРОРЕЖУЩЕГО АГРЕГАТА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОУДАЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЁННЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ

**Бураков А.В., аспирант,
Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доцент,
Белых А.Г., преподаватель**
Военный авиационный инженерный университет

Значительная часть существующих жёстких аэродромных покрытий, расположенных в различных регионах России и странах СНГ имеют повреждения, с локальным характером разрушения. Анализ специалистами дефектовки цементобетонных аэродромных покрытий и измерение их несущей способности показал, что в большинстве случаев при достаточно высоких числах PCN, которые характеризуют возможность эксплуатации ИВПП расчётными типами воздушных судов, состояние поверхности самого покрытия имеет низкие показатели, что в свою очередь вынуждает проводить ремонтно-восстановительные работы. При наличии локальных участков разрушения покрытия наиболее целесообразным является выборочный ремонт по материалам дефектовочной ведомости. Применяемый способ восстановления покрытий путем поверхностного ремонта предусматривает выполнение комплекса работ, который включает ремонт локальных разрушений на глубину до 10 см, кромок плит, заделку трещин, неровностей и т.д. Этот способ восстановительных работ освоен и успешно применяется такими известными предприятиями, как НПО «Прогрестех», ЗАО «ИР-МАСТ-ХОЛДИНГ», 26 ЦНИИ МО РФ, ЗАО «НТК «Аэротехнический Центр» [1,2,3]. Однако на стадии производства подготовительных работ, связанных с удалением повреждённых слоёв жёстких аэродромных покрытий возникает ряд проблем, а анализ технологических операций, применения машин и механизмов, которые используются при удалении повреждённых участков цементобетонных аэродромных покрытий даёт возможность сделать следующие выводы:

— технологические операции резки жёстких аэродромных покрытий сопряжены с большими затратами материальных средств, включая дорогостоящие фрезы, как по разрезанию материала покрытий, так и по съёму части его верхнего слоя;

— удаление слоёв меньше 5-7 мм становится чрезвычайно трудной задачей;

— механические способы удаления повреждённых цементобетонных покрытий с использованием фрез, перфораторов, отбойных молотков, проволочно-игольчатых пистолетов, металлических щёток, бетоноломных установок, и т.д., имеют ряд недостатков:

- низкая производительность;

- они значительно снижают прочность на отрыв (низкая прочность сцепления ремонтных материалов (материалы на основе минеральных вяжущих - РМ-26Ф, Эмако, со старым ремонтируемым цементобетонным покрытием);

- наличие большой амплитуды вибрации, и касательных напряжений в зоне реза цементобетона при механическом удалении нарушает физико-механические свойства и конструктивные особенности материала (растрескивание нижних слоёв цементобетонного покрытия и повреждение армокаркаса);

- образование большого количества пыли.

Всё это в сумме увеличивает энергозатраты, стоимость подготовительных работ и самое главное ухудшает качество покрытия.

Таким образом подрядные организации нуждаются в совершенно новых технологиях и механизмах для ремонта цементобетонных аэродромных покрытий государственной авиации.

За последние годы в мировой практике накоплен значительный опыт применения водоструйных установок высокого и сверхвысокого давления основанный на гидравлическом разрушении бетонов и железобетонов различных конструкций.

Одним из прогрессивных направлений в обработке строительных материалов резанием является использование разрушающей энергии водяной струи сверхзвуковой скорости, истекающей под большим давлением из отверстия малого диаметра.

Применение технологии гидроразрушения повреждённых слоёв цементобетонных покрытий аэродромов государственной авиации позволяет обеспечить высокую производительность и качество подготовительных работ, осуществляемых при их ремонте, а понимание физических процессов, которые происходят во внутренней структуре высокоскоростной водяной струи, используемой как инструмент данной технологии поможет в создании комплексной модели по выбору рациональных параметров гидрореза с заданными производственными ограничениями.

В первую очередь, в данной комплексной модели необходимо опираться на способ, который позволил бы с наибольшей точностью оценить динамические параметры сверхзвуковой струи гидрорежущего агрегата для данной технологии гидроудаления цементобетона, что в свою очередь является не простой задачей.

В данной работе предложен один из способов экспериментальной оценки распределения энергии в сечении структуры высокоскоростной водяной струи.

Изучение структурных изменений, происходящих в водяной струе от момента её вылета в воздушную среду до вырождения в капельный поток имеет большое значение для понимания физических процессов, определяющих формирование струй в проточной части режущего гидроинструмента. На рисунке 1 представлена схема водяной струи, отражающая современные представления о структурных изменениях, происходящих в ней по мере увеличения расстояния от струеформирующей насадки.

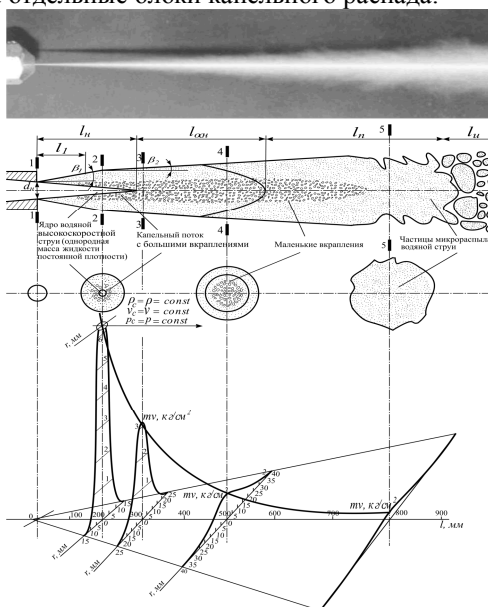
Модель сверхзвуковой гидроструи (рис. 1) рассмотрена в ограничении условий её истечения, когда высокоскоростная струя воды на выходе из струеформирующей насадки состоит из сплошной струи, расширяющейся по определённой закономерности, и капельного потока с плотностью, убывающей в радиальном направлении от оси струи. Непосредственно от начального сечения 1-1 на выходе из насадки в струе формируется ядро постоянных скоростей конусообразной формы, называемое начальным участком струи. На протяжении длины начального участка l_n нём имеет место потенциальное (безвихревое) течение жидкости. При этом если пренебречь сжимаемостью жидкости, то значения скоростей и динамических давлений во всех точках потенциального ядра струи можно считать постоянными (1):

$$v_c = v = const ; p_c = p = const , \quad (1)$$

где p - давление воды в подводящем канале перед насадкой; p_c - осевое динамическое давление; v - осреднённое значение скорости струи в начальном сечении.

Под воздействие избыточного статического давления, турбулентных возмущений и выхода газообразной компоненты происходит расширение струи, вызывающее увеличение её диаметра и изменение внутренней структуры. Расширение струи происходит

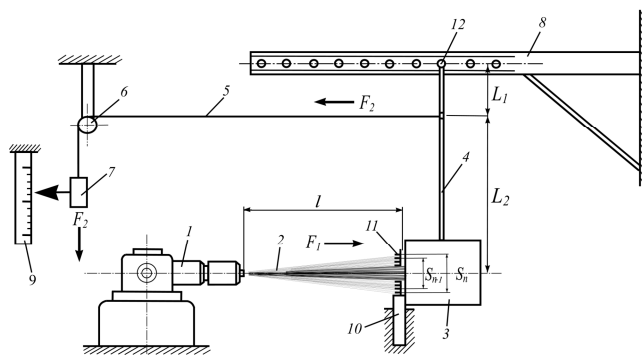
неравномерно. На участке длиной l_1 , (рис. 1) расширение струи имеет более интенсивный характер. За пределами сечения 2-2 угол расширения внешних границ струи β принимает меньшее значение и стабилизируется. За пределами сечения 2-2 статическое давление в струе становится равным атмосферному и дальнейшее расширение струи происходит в основном за счёт захвата струёй всё большей массы воздуха. Участок струи за пределами начального участка, на котором струя сохраняет высокую плотность и компактность, называют основным участком струи $l_{очн}$; в его пределах сохраняется высокая плотность струи при низких значениях угла расширения внешних границ струи. Начальный и основной участки в сумме составляют рабочий участок струи. За пределами рабочего участка струя теряет устойчивость и приобретает извилистую форму. В дальнейшем струя разделяется на отдельные блоки капельного распада.



l_n - начальный участок струи; $l_{очн}$ - основной участок струи; l_n - пульсирующий участок струи; l_u - импульсный участок струи

Рис. 1. Схематическое изображение структуры высокоскоростной водяной струи с распределением количества движения в струе, непрерывно вытекающей из струеформирующей насадки диаметром $d_0 = 0,595$ мм под давлением $p = 1500$ атм.

Так же на (рис. 1) графически представлено экспериментально полученное распределение количества движения (mv) в струе как по её оси, так и по радиусу путём измерения силы воздействия струи на круглые преграды различного диаметра, расположенные перпендикулярно к оси струи и симметрично относительно неё в сечениях 2-2, 3-3, 4-4, 5-5 при выходном диаметре струеформирующей насадки $d_0 = 0,595$ мм. Замерив каждый раз силу $F=mv$, можно путём вычитания найти, какое количество движения пронесит струя через различные концентрические слои своего сечения на заданном расстоянии от насадки. Разделив количество движения, приходящееся на некоторое кольцо со средним радиусом \overline{r} , на его площадь, можно получить \overline{mv} – количество движения, в среднем переносимое струей через единичную площадку, расположенную на расстоянии r от оси струи перпендикулярно к ней, т.е. можно найти распределение количества движения струи по её поперечному сечению. Схема опытной установки по определению количества движения представлена на (рис. 2).



1 – гидрокомпрессор; 2 – струя; 3 – приемник с песком (преграда); 4 – штанга; 5 – трос; 6 – блок; 7 – уравнивающий груз; 8 – балка; 9 – шкала; 10 – упор; 11 – диафрагмы; 12 – шарнир; $L_1 = 500$ мм; $L_2 = 700$ мм, l менялось от 100 до 1000 мм; выходной диаметр струеформирующей насадки $d_0 = 0,595$ мм; давление, создаваемое гидрокомпрессором 1 перед насадкой $p = 1500$ атм

Рис. 2. Схема опытной установки по определению количества движения высокоскоростной водяной струи

Для правильной работы установки (рис. 2) должно выполняться равенство: $M_1 = M_2$, (где $M_1 = F_1 \cdot L_2, M_2 = F_2 \cdot L_1$ - моменты сил F_1 и F_2 относительно точки подвеса маятника). Силами трения в шарнире 12 и блоке 6 пренебрегается.

Связывая экспериментально полученное количество движения \overline{mv} , в среднем переносимое струей через единичную концентрическую площадку площадью $(S = S_{n-1} - S_n)$, с давлением и скоростью потока высокоскоростной струи в этой площадке и, рассматривая скорость потока струи через величину давления потока воды в заданном сечении (используется уравнение Бернулли для скорости струи), получим (2):

$$\left(\frac{\overline{mv}}{s}\right)_n(\bar{r}_i, l) = 2 \cdot \bar{p}_n(\bar{r}_i, l) = T_n(r, l) \cdot \bar{v}_n^2(\bar{r}_i, l), \quad (2)$$

где $\left(\frac{\overline{mv}}{s}\right)_n(\bar{r}_i, l)$ - количество движения в среднем переносимое через единичную концентрическую площадку площадью S , средним радиусом

$$\bar{r}_i = \frac{r_{n-1} + r_n}{2} \text{ по длине струи; } \bar{p}_n(\bar{r}_i, l) - \text{осреднённое динамическое}$$

давление потока струи в i - ом кольце воздействия на преграду со средним радиусом \bar{r}_i по длине струи; $T_n(r, l)$ - коэффициент, характеризующий падение скорости потока струи под воздействием избыточного статического давления, турбулентных возмущений и выхода газообразной компоненты на всей площади воздействия на преграду в i - том сечении по длине струи; $\bar{v}_n(\bar{r}_i, l)$ - средняя скорость потока струи в i - ом кольце воздействия на преграду по длине струи

$$T_n(r, l) = \frac{S \left(\sqrt{\left(\frac{\overline{mv}}{s}\right)_n(r, l)} \right)}{\sqrt{\left(\frac{\overline{mv}}{s}\right)_n(r, l)}}, \quad (3)$$

где $S \left(\sqrt{\left(\frac{mv}{s} \right)_n} (r, l) \right)$ - среднеквадратичное отклонение осевой скорости потока струи на всей площади воздействия на преграду в i – том сечении по длине струи, выраженное через экспериментально полученное количество движения, выражение (2);

$\sqrt{\left(\frac{mv}{s} \right)_n} (r, l)$ - среднее значение скорости потока струи на всей площади воздействия на преграду в i – том сечении по длине струи, выраженное через экспериментально полученное количество движения.

Учитывая выражения (3) и (2), получим (4):

$$\bar{v}_n(\bar{r}_i, l) = T_n(r, l) \cdot \sqrt{\left(\frac{mv}{s} \right)_n} (\bar{r}_i, l), \quad (4)$$

Из определения количества движения для высокоскоростной водяной струи, непрерывно вытекающей из сопла и уравнения Бернулли для скорости струи, следует (5):

$$m_n(r, l) \cdot v_n(r, l) = \rho_n(r, l) \cdot s \cdot v_n^2(r, l) \quad (5)$$

где $m_n(r, l)$ - секундный расход массы потока высокоскоростной водяной струи в i – том сечении по длине струи.

Учитывая выражения (2), (3), (4), (5), получим (6):

$$\rho_{отн} = \frac{\rho_o}{\rho_n(r, l)} = (T_n(r, l))^{-1}, \quad (6)$$

где $\rho_{отн}$ – относительная плотность потока высокоскоростной водяной струи; $\rho_n(r, l)$ – плотность потока струи в i – том сечении по длине струи; ρ_o – плотность воды в подводящем канале перед струеформирующей насадкой (const).

Таким образом, можно сделать вывод, что данный экспериментальный способ позволяет определить поле скоростей и давлений во всём объёме потока высокоскоростной водяной струи, что в свою очередь позволит оптимизировать процесс гидрореза при заданных производственных условиях и даст возможность сэкономить затраты на энергоносители (энергопотребление) при использовании гидрорежущего оборудования при удалении различных классов цементобетонных покрытий аэродромов.

Список литературы:

1. Аэропорты. Погресивные технологии. - 2002. - №1. - С. 20–22.
2. Аэропорты. Погресивные технологии. - 2001. - №4. - С. 10–11.
3. Аэропорты. Погресивные технологии. - 2001. - №4. - С. 6.
4. *Тихомиров, Р. А.* Гидрорезание не металлических материалов / Р.А. Тихомиров, В.С. Гуенко. – Киев: «Техника», 1984. - С. 150.
5. *Семерчан, А. А.* Распределение количества движения в непрерывной жидкостной струе сверхзвуковой скорости / А.А. Семерчан, Л.Ф. Верещагин, Ф.М. Филлер, Н.Н. Кузин // Журнал технической физики. – 1958. - Т. XXVIII. - Вып. - № 9. - С. 2062-2071.
6. *Andreas W.* Hydrodemolition of Concrete Surfaces and Reinforced Concrete Structures. Faculty of Geo – Resources and Materials Technology Aachen University, Germany. - 2005. - P 270.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЭФФЕКТИВНЫХ ГИПСОВЫХ ПЕРЕГОРОДОЧНЫХ ПЛИТ

Бурьянов А.Ф., канд. техн. наук, доцент,
Бурьянов Е.Ф., инженер,
Фадин Ю.М., канд. техн. наук, профессор
*«ВНИИСТРОМ им. П.П. Будникова»,
ЗАО «Энергомаш (Белгород)- БЗЭМ»,
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Для современного строительства, особенно для архитектурно-строительных систем в малоэтажном строительстве, характерна тенденция роста доли применения экологически безопасных строительных материалов и изделий. При этом они должны обеспечивать наметившиеся тенденции в строительстве, а именно:

- снижение массы возводимых зданий;
- обеспечение энергосбережения, при эксплуатации зданий;
- обеспечение комплексной безопасности;
- обеспечение комфортности жилья;
- снижение его стоимости [1].

Отечественная и зарубежная практика свидетельствуют, что гипсовые материалы и изделия по праву принадлежат к числу эффективных строительных материалов.

По теплозащитным, звукоизолирующим свойствам и огнестойкости гипсовые материалы не уступают материалам на основе цемента, а по декоративности, комфортным и экологическим показателям они не имеют себе равных. Гипсовые материалы создают благоприятный микроклимат в помещениях за счет повышенной воздухопроницаемости, способности поглощать избыточную влагу и постепенно отдавать ее, когда в помещении «сухо».

При строительстве дома или коттеджа – выбор материала для межкомнатных перегородок: гипсовые перегородочные плиты, гипсолитовые плиты, гипсокартонные листы, кирпич, блоки из ячеистого бетона.

В современном строительстве при планировке помещений повсеместно используются оригинальные (индивидуальные) проекты. При этом множество квартир сдается без отделки и внутренних перегородок, так как будущие жильцы проектируют квартиру под свои потребности и финансы. И если с проектированием и отделочными

материалами все более или менее определено, то при выборе материала для перегородок даже у профессиональных строителей возникают проблемы.

Основные требования к перегородкам:

1. Материал должен хорошо обрабатываться.
2. При прокладке электро - и других проводов не должно возникать проблем из-за высокой прочности материала.
3. Перегородки должны быть достаточно прочными для крепления к ним полок, бытовой техники и т.п.
4. Одно из важнейших требований - перегородки должны обеспечивать хорошую звукоизоляцию между комнатами.
5. Перегородки в ваннных и туалетных комнатах должны быть влагостойкими.
6. Перегородки должны легко монтироваться.

Анализ и оценка свойств перегородочных из различных материалов показали, что по гигиеничности, огнестойкости, эксплуатационным свойствам, стоимости и удельным энергозатратам наиболее оптимальные показатели имеют перегородки из гипса – одного из древнейших строительных материалов.

Технико-экономические данные производства и применения различных видов перегородочных изделий свидетельствует о том, что производство гипсовых перегородок требует удельных энергозатрат в 2-5 раз меньше, чем производство перегородок из кирпича и бетона, а из выпускаемых промышленностью гипсовых перегородочных изделий наиболее эффективны гипсобетонные прокатные панели и перегородочные плиты [2].

Учитывая тот факт, что в нашей стране ежегодно возводится около 50 млн м² перегородок из негипсовых материалов, можно сделать вывод, что повсеместное внедрение гипсовых перегородочных изделий даст возможность экономить значительные количества топливно-энергетических ресурсов.

В последние годы отрасль производства гипсовых изделий перешла в основном на выпуск перегородочных плит пазогребневой конструкции. Основным отличием плит указанной конструкции является высокая точность изготовления и наличие монтажного соединения типа «паз-гребень», что позволяет вести монтаж перегородок силами рабочих низкой квалификации. Применение таких плит дает возможность сократить сроки строительства и исключить трудоемкие работы по оштукатуриванию стен.

На большинстве заводов России для изготовления таких плит используют формовочные машины производства Франции, Германии и Италии.

ВНИИСТРОМ им. П.П. Будникова совместно с другими организациями и предприятиями разработал, освоил и внедрил на ряде предприятий технологию и формовочный комплекс для производства гипсовых перегородочных плит размерами 600x300x80мм и 600x300x100 мм (по ГОСТ 6428-83, высшая категория качества) производительностью соответственно 120 и 90 тыс. м² в год при трехсменной работе [3,4].

В настоящее время разработаны формовочные машины для выпуска плит размерами 667x500x80 мм и 667x500x100 мм, которые имеют производительность 220 и 160 тыс. м² в год при трехсменной работе.

Технология изготовления пазогребневых плит в общем случае включает приготовление гипсового раствора литьевого consistency (расплыв по прибору Суттарда 200-300 мм) в смесителе периодического действия, заливку в жесткую формовочную кассету с определенным количеством отсеков и подвижным днищем. С началом схватывания смеси при необходимости оформляют верхний гребень плит (при формовании пазом вниз), а в случае формования плит гребнем вниз верхний торцевой паз формируется за счет планки-пуансона.

Исходные компоненты (гипсовое вяжущее и вода) подаются в весовые дозаторы, где автоматически с помощью прибора весового терминала и тензометрических датчиков отвешиваются заданные порции гипсового вяжущего и воды. По мере готовности соответствующих доз компонентов и по команде с пульта управления, отмеренная доза воды через специальную перфорированную трубу подается в мешалку, снабженную двумя двухлопастными смесителями. Затем туда же, по команде с пульта управления, подается из весового дозатора отмеренная доза гипсового вяжущего. Для обеспечения требуемых показателей по растекаемости раствора и срокам схватывания в технологии предусматривается использование пластифицирующих добавок и ускорителей схватывания гипса. В качестве пластифицирующей добавки используется суперпластификатор «MELMENT F 15» производства немецкой фирмы «SKW Polymers», поставляемый ЗАО «ЕвроХим-1». Для ускорения сроков схватывания гипсового вяжущего используются отходы вторичного гипса после формовки.

По истечении определенного времени, необходимого для перемешивания и получения гипсовой смеси, мешалка с помощью 2-х гидроцилиндров, приводящихся в движение от гидростанции, опрокидывается и приготовленная в ней водогипсовая смесь выливается в ячейки кассеты формовочной машины. После заливки кассеты смесью, мешалка с помощью тех же цилиндров возвращается в исходное положение, а загрузочные шиберы (заслонки) весовых дозаторов по команде оператора открываются для набора следующих доз гипсового вяжущего и воды.

Затем, по мере твердения гипсовой смеси, залитой в ячейки кассеты, включается механизм гребнеобразователя, представляющего собой поперечную подвижную балку, установленную на боковых направляющих и снабженную наклонно стоящим профильным ножом, который по мере возвратно-поступательного передвижения вдоль верхней плоскости кассеты с помощью гидроцилиндров срезает излишки массы, формируя гребни изделий, и возвращается в исходное положение.

После оформления гребня оператор включает механизм выталкивания изделий из ячеек формы. Выталкивание изделий осуществляется подвижными днищами ячеек кассеты, закрепленными к толкателям, установленным на подвижной траверсе, которая с помощью силовых гидроцилиндров перемещается по направляющим колонкам вверх и выталкивает изделия из жестких ячеек кассеты.

После небольшой выдержки, по команде оператора включается съемник-манипулятор, который с помощью специального захватного устройства снимает отформованные изделия, переносит и устанавливает их на вагонетку.

После освобождения кассеты от изделий включаются силовые цилиндры выталкивания на обратный ход. Толкатели с подвижными днищами опускаются вниз и возвращаются в исходное положение.

В это же время, с помощью распыляющего пистолета на стенки кассеты и подвижные днища наносится смазка. Используется смазка «LM-6», поставляемая фирмой «Bang & Bonsomer».

После возврата подвижных днищ в исходное положение и смазки, кассета подготовлена к следующему циклу формования.

Все операции процесса формования изделий, съема и укладки на сушильную вагонетку могут осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме.

В зависимости от свойств и области применения, перегородочные плиты подразделяются на обычные и влагостойкие. Обычные плиты

применяют в помещениях с сухим и нормальным влажностными режимами. Влагостойкие плиты – в помещениях с высокой влажностью (по СНИП II-3-79).

При изготовлении влагостойких (гидрофобизированных) плит, в их массу при формировании вводятся силиконовые добавки, уменьшающие их водопоглощение. Они имеют отличительную зеленую окраску.

Гипсовые пазогребневые плиты и конструкции на их основе обладают способностью поддерживать оптимальную влажность воздуха в помещении за счет поглощения излишней влаги, а при недостатке – выделения ее в окружающую среду.

Пазогребневые плиты, применяющиеся для создания межкомнатных перегородок изготавливаются из гипсового вяжущего без применения вредных добавок и, поэтому, являются абсолютно экологически безопасными изделиями. По кислотности и пародиффузионной сопротивляемости изделия из гипса близки к человеческой коже.

Устройство перегородок из гипсовых плит производится после того, как окончены работы по монтажу несущих и ограждающих конструкций здания. Плиты просты в монтаже, легко пилятся и обрабатываются.

В качестве монтажного клея при возведении перегородки используется любая сухая гипсовая кладочная смесь (клей).

В связи с высоким качеством поверхности плит они не требуют оштукатуривания. Поверхность перегородки сразу готова под покраску, оклейку обоями, полимерными покрытиями, облицовку плиткой.

Таким образом, при выборе материалов для устройства межкомнатных перегородок нужно помнить о таких преимуществах применения гипсовых перегородочных плит:

- легко монтируются методом склеивания;
- высокая производительность устройства перегородок без специального оборудования, один человек выполняет от 20 до 30 м² в смену;
- не требуется штукатурка, нет мокрых процессов;
- перегородка сразу после возведения готова к оклейке обоями или малярным работам;
- пазогребневые плиты можно пилить, гвоздить, строгать, фрезеровать (облегчает прокладку трубопроводов и электропроводки);
- экономия полезной площади за счет более тонкой (по сравнению с кирпичом), но стабильной поверхности;

- у перегородок из пазогребневых плит хорошая звукоизоляция (индекс звукоизоляции от воздушного шума не ниже 41 дБ);
- колебания температуры и влажности не вызывают в плитах никаких деформационных изменений;
- перегородки из гипсовых плит могут применяться в зданиях любого класса конструктивной пожарной опасности.

Применение на строительных объектах гипсовых перегородочных плит позволяет значительно сократить сроки и стоимость строительства.

Список литературы:

1. *Ферронская, А. В.* Гипс - вчера, сегодня и завтра / А.В. Ферронская // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: материалы семинара. - М.: «Алвиан», 2006.
2. *Бурьянов, А. Ф.* Эффективные гипсовые материалы для устройства межкомнатных перегородок / А.В. Бурьянов // Строительные материалы. – 2008. - №8.
3. *Бурьянов, А. Ф.* Формовочный комплекс для производства гипсовых перегородочных плит / А.Ф. Бурьянов // Строительный эксперт. – 2005. - №2.
4. *Бурьянов, А. Ф.* Совершенствование технологии и модернизация оборудования для производства гипсовых перегородочных плит / А.Ф. Бурьянов, Е.Ф. Бурьянов // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: матер. XV Академических чтений РААСН (Международной научно-технической конференции). – Казань, 2010. - Т.2.

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА С ЭКСЕРГИЕЙ ПО ТРЕБОВАНИЮ ПОТРЕБИТЕЛЯ

**Вердиян М.А., д-р техн. наук, профессор,
Несмеянов Н.П., канд. техн. наук, доцент,
Ильин Д.В., аспирант**

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

В деятельности каждого цемзавода наступает такой период, когда для увеличения объема продаж цемента необходимы принципиальные изменения в отношениях с потребителем. Ключевую роль при этом должны играть цемзаводы, т.к. высокоэффективная работа производителей конкурентоспособной строительной продукции предполагает обязательную реализацию рыночного правила - «клиент (потребитель) всегда прав».

Отсюда возникает новая для цемзаводов задача перехода от «серийного выпуска и отгрузки цемента одного типа и класса прочности для различных изделий потребителей к единичному или адресному выпуску для отдельно взятого изделия». Другими словами, адресный выпуск или «выпуск цемента на заказ» означает, что на цемзаводе при получении стандартного вида цемента учитываются дополнительные технические требования потребителя, вытекающие из свойств конкретного изделия, в состав которого входит этот цемент.

Для цементного завода это означает, что на заводе с его жесткой технологией производства должна быть разработана и внедрена гибкая технологическая схема выпуска для одного типа и класса прочности цемента различных специально организованных партий этого цемента, оптимально отвечающих требованиям потребителя по каждому виду продукции, где используется цемент, и рассчитанных на конкретные условия их применения.

Актуальность постановки такой задачи следует из общеизвестного и очевидного условия обязательного соответствия цемента своему изделию (раствор, бетон, сухие строительные смеси и т.п.), где он используется в качестве определяющего компонента, и тогда качество выпускаемого потребителем изделия предопределяется, прежде всего, свойствами используемого цемента. Это значит, что для достижения максимальной «работоспособности цемента» в изделии необходимо, чтобы в его состав (изделия) входил свой и только свой конкретный

цемент, со своим заданным химико-минералогическим (Х.М.) и зерновым (З.С.) составами, учитывающими изменения вида и свойств других компонентов, входящих в состав этого изделия. При этом совпадение этих заданных потребителем характеристик цемента с их фактическими значениями и означает решение задачи «выпуска цемента на заказ».

Традиционные методы оперативного контроля качества цемента и технологические схемы его измельчения не позволяют практически выпустить адекватный изделию такой конкретный цемент. И это, прежде всего, потому, что потребитель не знает, как сформулировать требования к свойствам нужного ему цемента, и поэтому использует один, чаще два стандартных вида, а завод не может выпустить такой специально ориентированный на конкретное изделие цемент. Все естественные негативные изменения в свойствах поставляемого цемента потребитель вынужден компенсировать повышенным его содержанием и специальными добавками в составе изделия, что естественно удорожает его стоимость. Использование новых эксергетических характеристик качества цемента и внедрение мельниц дискретно-непрерывного действия МДНД позволило решить новую для цементозаводов задачу «выпуска цемента по индивидуальному заказу».

Прежде всего, отметим те объективно существующие особенности технологии цемента, которые объясняют, почему цементозаводы до настоящего времени не могли выпускать заказной цемент, т.е. такой цемент, у которого фактические количественные значения минералогического и зернового составов совпадали бы с данными, приведенными в технических требованиях потребителя. Главные из них:

1. В рамках любого выпускаемого изготовителем типа и класса прочности цемента всегда имеется множество вариантов такого вида цемента и качество каждого поступающего к потребителю цемента, отличается от предыдущего.

Поэтому потребителю каждый раз приходится иметь дело как бы с новым цементом с его измененным химико-минералогическим (Х.М.) и зерновым (З.С.) составами.

2. Для того чтобы выпускать «цементы на заказ», необходимо четко определить, какие параметры цемента должны быть указаны потребителем в техническом задании на его выпуск. Использование стандартных показателей качества без комплексной энергетической оценки качества используемого цемента недостаточны для

формулировки требований к этому конкретному цементу для выпуска его производителем.

3. На цемзаводе отсутствует гибкая технологическая схема получения цемента и оперативный комплексный контроль его качества.

4. Использование разных цементов одного вида резко затрудняют условия формирования состава и задачу стабилизации качества изделия у потребителя.

Всем этим особенностям отвечает новая энергетическая характеристика (уравнения 1-4) качества порошка цемента, а именно - эксергия цемента $E_{цем}$, его концентрация $E_{цем}/d_{cp}$ и дисперсия «Д», которые количественно характеризуют качество каждой конкретной партии цемента.

$$E_{цем} = E_{кл} + E(PЧЭ)] \rightarrow E_{цем.max} \quad (1)$$

$$E_{цем}/d_{cp} \rightarrow (E_{цем}/d_{cp})_{max} \quad (2)$$

$$D(E_{цем}) \rightarrow D(E_{цем})_{max} \quad (3)$$

$$D(A) = f[D(E_{цем})] \rightarrow D(A)_{min}; A_{28} \uparrow = f(E_{цем}/d_{cp}) \uparrow \quad (4)$$

где $E_{кл}$ - эксергия размалываемого материала, клинкера;

$$E_{кл} = f(\text{вид сырьевых компонентов}; KH; n, p, C_3S; C_2S, C_3A; C_4AF);$$

$E(PЧЭ)$ - эксергия зернового состава или распределение частиц по их эксергии;

d_i - размеры частиц цемента, определяющие свойства цемента в изделиях;

$$D(E_{цем}), D(A) - \text{дисперсии эксергии и активности цемента.}$$

Установлено, что между типом и классом прочности цементов, их эксергетическими характеристиками и ценой имеется строго однозначное соответствие и $A_{28} \uparrow = f(E_{цем}/d_{cp}) \uparrow$. Эти же зависимости имеют место и для выпускаемых различных партий одного вида цемента. Это значит, что все требования, предъявляемые потребителем к цементу, могут быть сформулированы и заданы в численных значениях его эксергетических характеристик $E_{цет}$, $E_{цем}/d_i$ и $D(E_{цем})$. Другими словами, каждому требованию потребителя, вытекающему из свойств изделия, где используется тот или иной цемент, будут соответствовать свои и только свои конкретные значения (диапазон) эксергетических характеристик цемента, определяющие и значение эксергии самого конечного изделия. Критерии (1-4) являются здесь определяющими при разработке технического задания на выпуск заказного цемента.

Для большого числа выпускаемых партий на ОАО «Осколцемент» экспериментально были получены количественные значения

эксергетических характеристик для различного типа и класса прочности цементов, а также для различных партий одного вида цемента. Анализ численных значений эксергетических характеристик для этих цементов однозначно свидетельствует о наличии существенных различий между ними, о том, что все эти параметры оперативно регулируются при циклическом способе организации процессов измельчения в мельнице дискретно-непрерывного действия МДНД и экспериментально доказывают тем самым, что адресный цемент может быть получен в МДНД при оперативном регулировании процесса по критериям $E_{\text{чем}}/d_{\text{ср}}, D(A_{28})$.

Список литературы:

1. Вердиян, М. А. Эффективность дискретно-непрерывных процессов измельчения твердых тел / М.А. Вердиян, В.Н. Третьяков, В.С. Богданов, Ю.М. Фадин, И.М. Тынников // Цемент. – 1995. - № 4. – С. 19-21.

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО СООРУЖЕНИЯ

Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доцент
Военный авиационный инженерный университет

Важнейшей проблемой дорожной отрасли Российской Федерации является эксплуатационное качество автомобильных дорог и увеличение их срока службы. Большая часть сети автомобильных дорог исчерпала нормативный срок эксплуатации. Оценки специалистов показывают соответствие нормам 32-38 % федеральных и 15-24 % региональных дорог. Использование различных технологий позволяет продлить срок эксплуатации существующих дорожных конструкций, выбор и обоснование технологических решений должны базироваться на результатах детальных обследований их состояния и прогнозировании развития различных видов разрушений. Выявление на ранних стадиях возникающих разрушений возможно с использованием новых методик диагностики дорожных конструкций.

В последние десятилетия активное развитие получила инженерная геофизика, изучающая свойства грунтов, конструкций и процессы в элементах транспортных сооружений связанных с деятельностью человека и влиянием эксплуатационных факторов.

Главная цель изучения изменения структуры транспортных сооружений и местности до начала строительства, а также прогноз тех изменений, которые произойдут в среде, и, в первую очередь, в слоях конструкций в процессе строительства и при эксплуатации сооружений. В современных условиях ни одно здание или сооружение не может быть спроектировано, построено и надежно эксплуатироваться без достоверных и полных инженерно-геологических данных.

В практике инженерно-геофизических изысканий основное место занимают электрометрия, сейсмометрия, виброметрия и георадарные методы. Ведущими методами являются ударные методы вызывающие деформацию сооружения и несущие информацию о конструкции, а также: электропрофилирование, радиоволновой и скважинные методы.

К современным методам исследований относятся: многоволновые акустические наблюдения, георадиолокация, георадиолокационные измерения на грунтах и строительных конструкциях.

К решаемым задачам относятся: изучение инженерно-геологических условий, динамических воздействий на грунты и

конструкции, инструментальное обследование состояния строительных конструкций, мониторинг грунтов и сооружений в зоне влияния крупного строительства. Для решения более серьезных задач, таких как строительство моста и проектирование туннеля, необходимо иметь четкое представление о физико-механических свойствах породы, глубинах залегания слоев. Поэтому в состав комплекса приборов измеряющих прочностные свойства конструкций необходимо включать дополнительные современные методы, разработанные на основе методик, применяемых в нефтяной и угольной геофизике, позволяющие получать информацию о физико-механических свойствах грунтов высокого качества. В совокупности методов, а также решаемой задачи можно сказать, что решается проблема комплексирования данных от различных датчиков и приборов применяемых при определении надежности транспортных сооружений.

В основе понимания физической сущности комплексирования лежит единство и общность физических процессов протекающих в объектах.

Надежность транспортного сооружения определяется степенью их разрушения и вместе с другими нарушениями характеризует внутреннее строение того или иного участка транспортного сооружения, пространственную неоднородность и анизотропность свойств слагающих их материалов.

Одним из современных методов оценки структуры является сканирующий георадар. Он не только позволяет выявить тонкие структуры, оценить их неоднородность, слоистость, анизотропию и определить элементы заглубления. Использование инклинометрического датчика позволяет оценить угловые характеристики пространственного расположения приборов и поверхностей.

Технологии, применяемые при диагностике конструкций: 3-мерная сейсморазведка (3D) (пространственная); скважинная сейсморазведка; высокоразрешающая сейсморазведка (HR); 4-компонентная сейсморазведка (4C); 4-мерная сейсморазведка (4D).

1. Анализ динамических сейсмических параметров.
2. Сейсмофациальный анализ.
3. Ориентированная обработка сейсмических данных.
4. Сейсмическая инверсия.
5. Зависимость амплитуды от удаления (AVO).
6. Сейсмическое и вибрационное моделирование.

Для получения комплексированных данных необходимо выполнить ряд условий:

1. Надежное прослеживание в пространстве.
2. Высокая разрешающая способность.
3. Интеграция со статическими данными.
4. Интеграция в масштабе всего транспортного сооружения.
5. Оценка неопределенностей.

Основные недостатки, преодолеваемые использованием комплексирования для георадиолокационного метода:

1. Неоднозначность между материалом конструкции и диэлектрической проницаемостью.
2. Влияние на георадиолокационный сигнал проводимости, снижающее однозначность интерпретирования получаемых данных.
3. Слабая косвенная связь с физическими константами, используемыми для расчета прочности конструкции.
4. Сложная интерпретация данных по слоям с близкими электрическими характеристиками.
5. Затенение низ лежащих слоев с высокой проводимостью.
6. Невозможность нахождения подвижных слоев или элементов конструкции.

Преодоление вышеуказанных недостатков осуществляется введением акустических измерений, коррелированных с измерениями радиочастотных методов и выражаемых в связи между акустическими и другими параметрами:

- Упругость относится к деформациям твердых тел, которые исчезают полностью после снятия напряжений, их вызывающих.
- Прохождение низко-амплитудных волн – пример деформации.
- Общий тензор упругости, связанный со сжатием и растяжением в анизотропной среде, представлен 21 независимой постоянной.
- В трансверсальной изотропной среде (где свойства одинаковы в двух ортогональных (перпендикулярных) направлениях).
- Изотропная среда (где свойства одинаковые по всем направлениям) имеет только две независимые постоянные упругости.
- Для небольших смещений выполняется закон Гука и деформация пропорциональна напряжению.
- Свойства сжатия-растяжения изотропных материалов, которые подчиняются закону Гука, определяются модулем упругости.

Введение в структуру получаемых данных акустическую информацию позволяет произвести расчет упругих постоянных:

Модуль объемной упругости k : $k = \Delta P / (\Delta V / V)$.

Модуль сдвига μ : $\mu = (\Delta F / A) / (\Delta L / L)$.

Модуль растяжения E : $E = (\Delta F / A) / (\Delta L / L)$.

Постоянная Ламе : $\lambda = k - 2 \mu / 3$.

Коэффициент Пуассона μ : $\mu = (\Delta W / W) / (\Delta L / L)$.

Применение связанных измерителей в комплексе порождает методику комплексирования структурных данных для определения надёжности транспортного сооружения. Достоинства метода: связь акустических (волновых) величин с физическими параметрами материалов дорожной конструкции; возможность определения средней и дисперсионной плотности материала; нахождение адиабатических коэффициентов сжатия материала; высокая чувствительность к пористости среды; возможность определения сдвиговых явлений в упругой среде; высокая разрешающая способность.

Таким образом, применение предлагаемого метода расширяет возможности диагностики транспортных сооружений и дает следующие преимущества:

1. Надёжное прослеживание в пространстве.
2. Высокая разрешающая способность.
3. Интеграция с георадиолокационными данными.
4. Интеграция со скважинными данными.
5. 3D-мерная диагностика конструкций.
6. Высокоразрешающая диагностика в пространстве распространения волн.
7. Оценка неопределенностей распознавания.
8. Повышение помехозащищенности измерений.
9. Возможность получения данных о физических параметрах диагностируемых элементов конструкции и слоев.

В целом методика комплексирования структурных данных для определения надёжности транспортного сооружения позволяет не только выявить неоднородности пространственной структуры сооружения, но и прослеживать во времени их изменение, связывая с параметрами надёжности конструкций.

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ СМЕСИТЕЛЬНОГО ШТИФТОВОГО УЗЛА ОДНОШНЕКОВОГО ЭКСТРУДЕРА

Воронов В.П., канд. физ.-мат. наук, профессор,
Кушев Л.А., д-р техн. наук, профессор,
Веретнов А.Л., инженер,
Фоменко Ю.В., канд. техн. наук, ст. преподаватель
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время различные виды полимерных композиционных материалов (ПКМ) активно вытесняют традиционные полимерные материалы в стройиндустрии, химической промышленности.

Основным оборудованием для получения ПКМ являются одношнековые экструдеры. Шнековый экструдер, по сравнению с другими видами экструдеров, прост в исполнении и эксплуатации, обладает большей производительностью.

В последнее время, для интенсификации процесса смешения применяют различные смесительные приспособления на выходном конце шнека.

В работе рассматривается конструкция смесительного приспособления для получения и переработки ПКМ. Вид данной конструкции представлена на рис. 1.

Смесительный штифтовой узел (СШУ) состоит из конусообразной смесительной головки, неподвижно закрепленной на выходе материального цилиндра; смесительного наконечника, неподвижно закрепленного на валу шнека; штифтов неподвижно закрепленных на внутренней поверхности конусообразной смесительной головки и на внешней

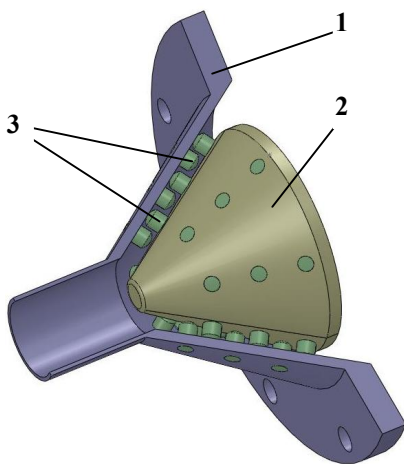


Рис. 1. Смесительный штифтовой узел
1 - конусообразная смесительная
головка; 2 - смесительный наконечник;
3 - штифты

поверхности смесительного наконечника.

Объемная производительность потока расплава через головку или какое либо приспособление на передней части шнекового экструдера, в нашем случае - смесительный штифтовой узел, прямо пропорциональна падению давления Δp обратно пропорциональная эффективной вязкости μ расплава [1, 3, 4]:

$$Q = \frac{\Delta p K}{\mu} \quad (1)$$

где Δp - перепад давления в СШУ, Па; K - коэффициент геометрической формы СШУ, м^3 ; Q - величина производительности, $\text{м}^3/\text{с}$.

Согласно соотношению (1) коэффициент “ K ” является неотъемлемой составляющей при определении производительности.

Конструкция СШУ позволяет предположить, что определение коэффициента геометрической формы K строго аналитическим методом невозможно. Поэтому можно прибегнуть к методу приближенного расчета, основанному на замене реальной системы упрощенной моделью таким образом, что бы каждый из элементов модели можно было свести к форме, поддающейся аналитическому описанию (рис. 2).

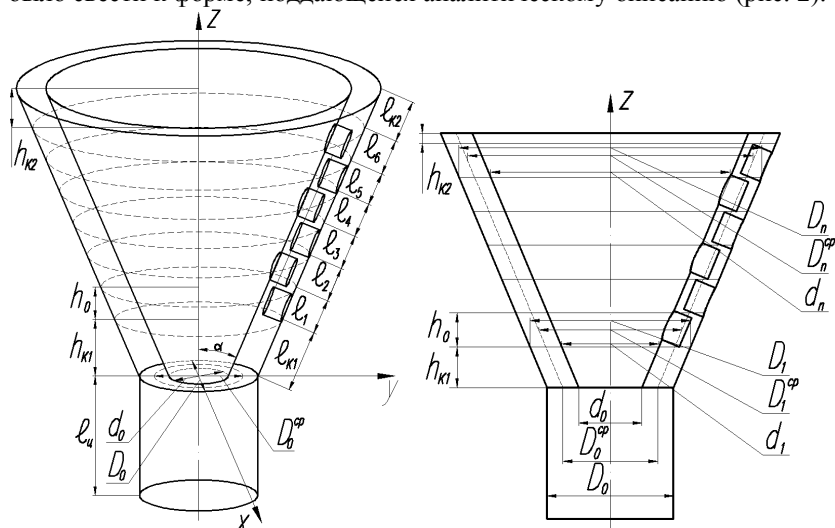


Рис. 2. Расчетная схема для нахождения коэффициента геометрической формы СШУ методом ступенчатой аппроксимации

Примем следующие допущения:

- смесительный наконечник неподвижен относительно конусообразной смесительной головки;
- потери давления между штифтами пренебрежимо мало по сравнению с потерями давления, создаваемые штифтами СШУ;
- эффективная вязкость расплава ПКМ постоянна и одинакова в любом взятом объеме канала СШУ;
- течение расплава является стационарным и ламинарным;
- скорость течения расплава низка, и инерционными силами пренебрегаем;
- расплав смачивает внутренние стенки и штифты канала.

Согласно сделанным допущениям коэффициент геометрической формы канала СШУ равен:

$$K = \left[\sum_{n=1}^m \frac{1}{K_n} + \frac{1}{K_{K1}} + \frac{1}{K_{K2}} + \frac{1}{K_{ц}} \right]^{-1}, \quad (2)$$

где K_n – коэффициенты геометрической формы конических участков СШУ содержащих штифты; K_{K1} – коэффициент геометрической формы первого конического участка СШУ, не содержащего штифтов; K_{K2} – коэффициент геометрической формы второго конического участка СШУ, не содержащего штифтов; $K_{ц}$ – коэффициент геометрической формы цилиндрического участка СШУ; m – число сечений.

Коэффициент геометрической формы цилиндрического участка СШУ рассчитывается по формуле [1]:

$$K_{ц} = \frac{\pi d_{ц}^4}{128 l_{ц}}, \quad (3)$$

где $d_{ц}$ – диаметр цилиндрической части СШУ; $l_{ц}$ – длина цилиндрической части СШУ.

Для канала с сечением любой конфигурации, постоянным по всей длине коэффициент геометрической формы можно определить согласно соотношению [2]:

$$K = \frac{S^3}{2\Pi^2}, \quad (4)$$

где S – площадь канала; l – длина канала; Π – периметр канала.

Коэффициент геометрической формы канала первого конического участка СШУ, не содержащего штифтов, рассчитывается согласно выражению для конического кольцевого канала с конической щелью

постоянного диаметра на основании результата работы [1] принимает следующий вид:

$$K_{K1} = \frac{\pi (D_{K1}^{cp} - D_0^{cp})^4}{27,6 \cdot l_{K1} \lg \left(\frac{D_{K1}^{cp}}{D_0^{cp}} \right)}, \quad (5)$$

где D_{K1}^{cp} – средний диаметр первого конического участка СШУ; D_0^{cp} – средний диаметр выходного конического патрубка первого конического участка СШУ; l_{K1} – длина первого конического участка СШУ.

На основании расчетной схемы (рис. 2) находим:

$$D_{K1}^{cp} = D_0^{cp} + 2h_{K1} \cdot tg\alpha = \frac{D_0 + d_0}{2} + 2h_{K1} \cdot tg\alpha, \quad (6)$$

где h_{K1} – высота первого конического участка (проекция длины конического участка на ось z); α – угол наклона образующей конуса СШУ с осью z.

Согласно соотношению (6) получаем соотношение

$$\frac{D_{K1}^{cp}}{D_0^{cp}} = 1 + \frac{4h_{K1} \cdot tg\alpha}{D_0 + d_0}. \quad (7)$$

С учетом (6), (7) выражение (5) принимает вид:

$$K_{K1} = \frac{16\pi \cdot h_{K1}^3 \cdot tg^4\alpha \cdot \cos\alpha}{27,6 \cdot \lg \left(1 + \frac{4h_{K1} \cdot tg\alpha}{D_0 + d_0} \right)}. \quad (8)$$

Согласно конструктивным размерам:

$$l_n = \frac{h_0}{\cos\alpha} = const, \quad n=1 \dots m, \quad (9)$$

где m – число участков разбиения конической поверхности СШУ, содержащей штифты.

Согласно расчетной схемы на рис 2 находим следующие соотношения:

$$D_n = D_0 + 2tg\alpha (h_{K1} + (n-1) \cdot h_0), \quad (10)$$

$$d_n = d_0 + 2tg\alpha (h_{K1} + (n-1) \cdot h_0). \quad (11)$$

Площадь и периметр сечения n-го конического участка СШУ

содержащего штифты согласно расчетной схеме на рис 3 определяются следующими соотношениями:

$$S_n = \frac{\pi}{4} \left[(D_n^{cp})^2 - (d_n^{cp})^2 \right] - d_{um} h_{um} M_n, \quad (12)$$

$$\Pi_n = \pi (D_n^{cp} + d_n^{cp}) + 2h_{um} M_n, \quad (13)$$

где M_n – число штифтов в n-м сечении; $d_{шт}$ – диаметр штифта; $h_{шт}$ – высота штифта.

Здесь

$$D_n^{cp} = D_0 + 2tg\alpha(2h_{к1} + h_0(2n-1)), \quad (14)$$

$$d_n^{cp} = d_0 + 2tg\alpha(2h_{к1} + h_0(2n-1)), \quad (15)$$

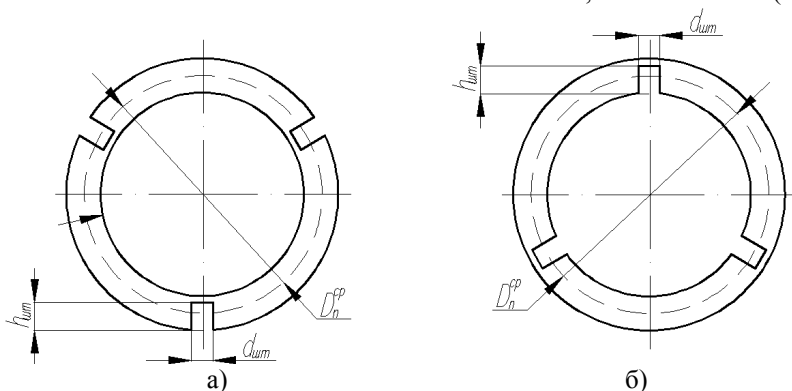


Рис. 3. Расчетная схема геометрических параметров n-го сечения СШУ
а – участок канала СШУ содержащий штифты закрепленные на конусообразной смесительной головке; б - участок канала СШУ содержащий штифты закрепленные на смесительном наконечнике

Подстановка (9), (12) и (13) в (4) позволяет коэффициент геометрической формы n-го участка СШУ, содержащего штифты задать следующим соотношением:

$$K_n = \frac{\pi \left[D_0^2 - d_0^2 + 4(D_0 - d_0)(2h_{к1} + h_0(2n-1))tg\alpha - \frac{4d_{um}h_{um}M_n}{\pi} \right]^3 \cos \alpha}{128h_0 \left[D_0 + d_0 + 4tg\alpha(2h_{к1} + h_0(2n-1)) + 2h_{um}M_n \right]^2}. \quad (16)$$

Коэффициент геометрической формы канала второго конического участка СШУ, не содержащего штифтов, рассчитывается аналогично (5)

и согласно расчетной схеме (рис. 2) имеет вид:

$$K_{K2} = \frac{16\pi h_{K2}^3 tg^4 \alpha \cos \alpha}{27,61g \left(1 + \frac{4h_{K2}tg\alpha}{D_0 + d_0 + 4tg\alpha(h_{K1} + 5 \cdot h_0)} \right)} \quad (17)$$

Подставив (5), (16), (17) и (3) в (2) получим выражение для расчета суммарного коэффициента геометрической формы СШУ:

$$K = \left[\sum_{n=1}^6 \frac{1}{\pi \left[D_0^2 - d_0^2 + 4(D_0 - d_0)(2h_{K1} + h_0(2n-1))tg\alpha - \frac{4d_{шт}h_{шт}M_n}{\pi} \right]^3 \cos \alpha} + \frac{128h_0 \left[D_0 + d_0 + 4tg\alpha(2h_{K1} + h_0(2n-1)) + 2h_{шт}M_n \right]^2}{16\pi h_{K1}^3 tg^4 \alpha \cos \alpha} + \frac{1}{27,61g \left(1 + \frac{4h_{K1}tg\alpha}{D_0 + d_0} \right)} + \frac{1}{27,61g \left(1 + \frac{4h_{K2}tg\alpha}{D_0 + d_0 + 4tg\alpha(h_{K1} + 5h_0)} \right)} + \frac{1}{128l_u} \right]^{-1} \quad (18)$$

На рис 4 представлена графическая зависимость суммарного коэффициента геометрической формы СШУ (K) от числа штифтов в сечениях (M_n) при следующих значениях:

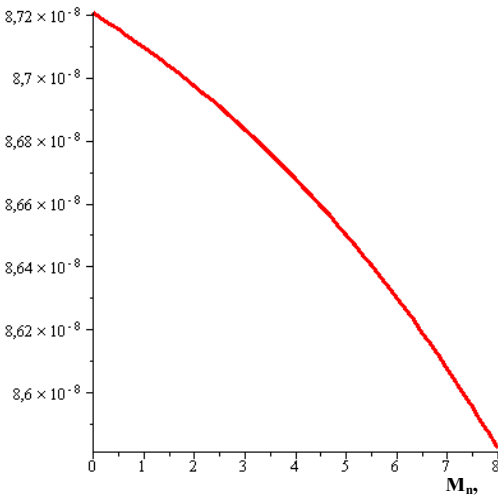


Рис. 4. График зависимости суммарного коэффициента геометрической формы СШУ (K) от числа штифтов в сечениях (M_n)

коэффициента геометрической формы СШУ (K) от числа штифтов в сечениях (M_n) при следующих значениях: d₀=0,013м, D₀=0,03м, h_{K1}=0,006м, h_{K2}=0,002м, h₀=0,007м, α=33°, d_{шт}=0,007м, h_{шт}=0,007м, d_ц=0,03м, l_ц=0,045м, n=6.

Из графика видно, что суммарный коэффициент геометрической формы СШУ имеет максимальное значение 8,72 · 10⁻⁸ м³ при M_n=0, т.е.

отсутствии штифтов в канале. Зависимость имеет убывающий характер, и увеличение числа штифтов в сечении до $M_n=8$ ведет к снижению величины коэффициента до $8,58 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$ или на 1,6%.

На рис 5 представлен график зависимости суммарного коэффициента геометрической формы СШУ (K) от угла наклона образующей конуса СШУ с осью z (α) при $M_n=6$.

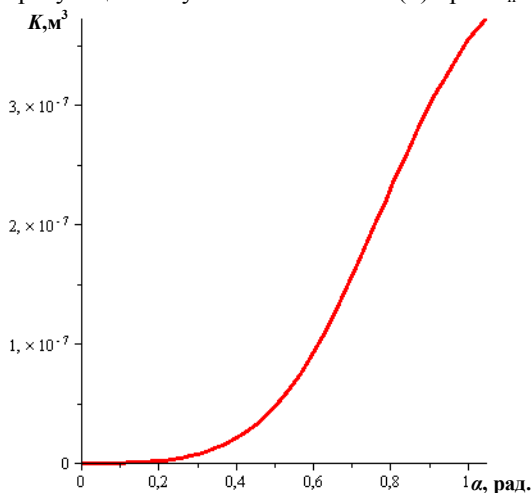


Рис. 5. График зависимости суммарного коэффициента геометрической формы СШУ (K) от угла наклона образующей конуса СШУ с осью z (α)

Из графика видно, что значение суммарного коэффициента геометрической формы СШУ при значении $0,13 \leq \alpha$ близко к нулю. При $0 \leq \alpha \leq 0,57$ зависимость носит нелинейный характер и величина K достигает значения $8,35 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$. При $0,57 \leq \alpha \leq 0,89$ зависимость имеет линейный характер и величина K достигает значения $1,83 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$.

Список литературы:

1. *Рябинин, Д. Д.* Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей / Д.Д. Рябинин, Ю.Е. Лукач. - М.: Машиностроение, 1972. - С. 272.
2. Оборудование для переработки пластмасс: Справочное пособие по расчету и конструированию. Под ред. В.К. Завгороднего. - М.: Машиностроение, 1976. - 407 с.
3. *Гиберов, З. Г.* Механическое оборудование заводов пластических масс / З.Г. Гиберов. - М.: Машиностроение, 1977. - 340 с.
4. Оборудование предприятий по переработке пластмасс / Под общ. ред. Завгороднего. - Л.: Химия, 1972. - 464 с.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗРЕЖЕНИЯ В АСПИРАЦИОННЫХ УКРЫТИЯХ

Гольцов А.Б., ассистент

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

Технологические операции (перегрузка, дробление, грохочение и др. сыпучих материалов) на предприятиях различных отраслей (горно-рудной, строительной, металлургической, угольной и др.) сопровождаются интенсивным выделением пыли. Основными методами борьбы с пылью являются технологические, гидрообеспыливание, пенопылеподавление, системы комплексной обеспыливающей вентиляции. Наиболее эффективным методом является система комплексной обеспыливающей вентиляции включающих в себя: аспирацию, пневмоуборку просыпей, общеобменную вентиляцию. Системы аспирации ликвидирует основную причину пылеобразования – избыточное давление в полостях технологического оборудования и укрытиях, образующееся за счет взаимодействия сыпучего материала и рабочих органов с воздухом, локализуя источники пылеобразования укрытиями, последующее удаление от них запыленного воздуха и его очистка.

На сегодняшний день существует порядка шестидесяти различных видов аспирационных укрытий, большинство из них имеет достаточно сложные конструкции, значительно снижающие эксплуатационную эффективность работы перегрузочного узла. Наибольшее распространение сегодня получили укрытия с одинарными (УО) и двойными (УД) стенками, а также комбинация двойных стенок с жесткой перегородкой (УДЖ).

Одной из важных задач при проектировании систем аспирации является подбор аспирационного укрытия, и в частности определение разрежения, в укрытии позволяющего предотвратить выбивание пыли в воздух рабочей зоны. В решении данного вопроса помогают обширные исследования [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

Известно, что величина разрежения в укрытии определяется величиной и характером изменения давления на внутренней поверхности стенок укрытия. Статическое давление у стенок в свою очередь обуславливается аэродинамическими и тепловыми процессами, протекающими в укрытии [2].

Для предотвращения выбивания воздуха из укрытия, необходимо увеличить производительность местного отсоса, добившись разрежения на всей площади вертикальных стенок. Причем, наименьшая величина этого разрежения должна быть не меньше динамического напора струи у наиболее близкой к желобу стенки [1,2]:

$$P_{\min} \geq \frac{v_{эж}^2}{2} \rho, \quad (1)$$

А величина оптимального разрежения пропорциональна динамическому напору воздушного потока в конечном участке желоба:

$$P_{\text{опт}} \approx \frac{k v^2 \rho}{2} \quad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности, учитывающий конструктивное оформление укрытий и условия выхода струи эжектируемого воздуха;

v – скорость эжектируемого воздуха при выходе из желоба, м/с;

ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Величину оптимального значения следует определять промышленными испытаниями и учитывать все факторы, влияющие на нее. Так, для укрытия места загрузки конвейера – это тип укрытия, следовательно, аэродинамические особенности взаимодействия потока эжектируемого воздуха и всасывающего спектра аспирационного патрубка; крупность материала и, следовательно характер и интенсивность вытеснения воздуха в момент падения частиц на ленту конвейера [1, 2, 4, 5].

На наш взгляд величину минимального разрежения целесообразней определять по формулам (1) и (2), так как, принимая разрежение по [1, 2, 3, 4] не учитываются такие важные параметры, влияющие на объемы эжекции и динамическое давление в конце желоба, как расход материала и конструкция желоба (площадь живого сечения).

Основываясь на выше сказанном, перед нами встала задача исследования минимального разрежения обеспечивающего не выбивание воздуха из укрытий с одинарными и двойными стенками, а также с двойными стенками и жесткой перегородкой с целью их сравнения между собой и с результатами работ авторов. Для решения этой задачи нами был выполнен численный и полупромышленный эксперименты, результаты которых представлены на рис. 1.

Численный эксперимент (ЧЭ) проводился в программном комплексе COSMOSFloWorks, который интегрирован с системой автоматизированного проектирования SolidWorks.

В процессе эксперимента решается внутренняя стационарная задача движения воздуха в полости аспирационного укрытия от желоба до аспирационного воздуховода. Для решения данной задачи были приняты начальные (физические параметры среды характерные для нормальных условий) и граничные условия исследуемой модели. В качестве граничных условий были приняты проницаемые (всасывающий проем аспирационной воронки, поверхность входа эжектируемого потока, поверхности атмосферного давления) и непроницаемые (поверхности твердых тел) плоскости, которые фактически определяют связь физических процессов в расчетной области с физическими процессами вне её. В процессе эксперимента варьировались величины объемов эжекции и аспирации до достижения соотношения в результате, которого фиксировалось не выбивание воздуха из укрытия как, условие.

Полупромышленный эксперимент (ППЭ) проводился на лабораторном стенде. Замер разрежения производился по периметру укрытия.

На рисунке 1 представлен график влияния объемов эжектируемого воздуха на оптимальное разрежение (P_y), построенный на основании усредненных разрежений в укрытиях УО, УД и УДЖ при различных заданных объемах эжекции и расходах аспирации предотвращающих выбивание воздуха из укрытия. Так же на графике представлены кривые разрежений определённых по формуле (1) отнесенных к скорости в желобе ($v_{ж}$) и в проеме между перегородкой ($v_{пер}$) и лентой конвейера.

По результатам проведенных экспериментов удалось установить, что на величину оптимального разрежения преобладающее влияние оказывает величина динамического напора в конечном участке желоба (для укрытий с одинарными и двойными стенками) и входа во внешний короб (для укрытия с двойными стенками и жесткой перегородкой). В укрытии с двойными стенками разрежение по периметру распределяется более равномерно по сравнению с другими типами укрытий. Минимальные объемы аспирируемого воздуха (при соблюдении условия не выбивания) характерны для укрытия с двойными стенками, максимальные для укрытия с одинарными стенками.

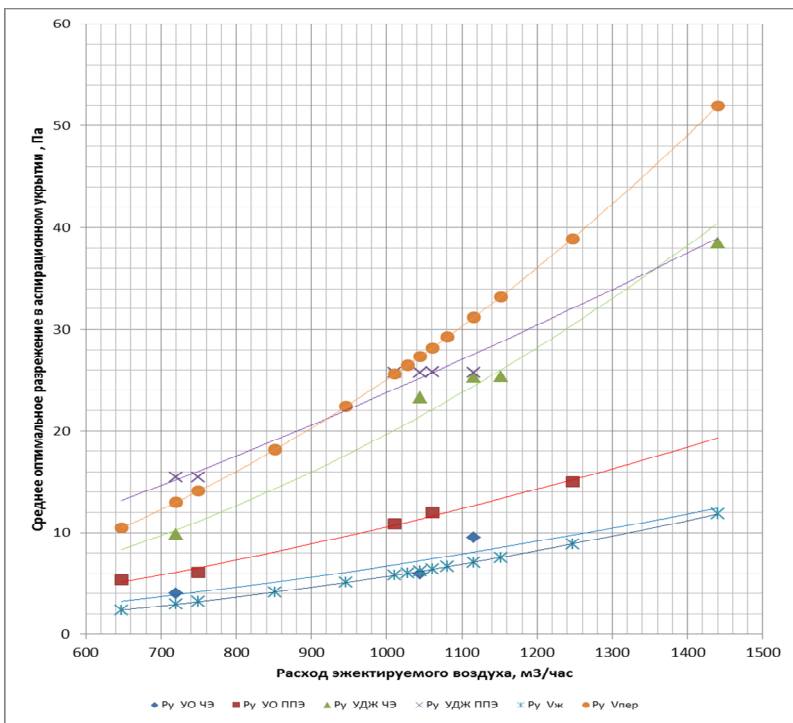


Рис. 1. График влияния объемов эжектируемого воздуха на разрежение в укрытии:

Ру УО ЧЭ, Ру УДЖ ЧЭ - среднее значение оптимального разрежения в укрытии с одинарными стенками и двойными стенками и жесткой перегородкой по результатам численного эксперимента; Ру УО ППЭ, Ру УДЖ ППЭ – то же по результатам полупромышленного эксперимента; Ру Vпер, Ру Vж – среднее значение разрежения полученного по формуле (1), отнесенное к скорости в перегородке и желобе соответственно

Проанализировав полученные результаты, выделим следующее:

- равномерное разрежение в укрытии с двойными стенками позволяет снизить объемы аспирируемого воздуха за счет снижения расхода воздуха поступающего через неплотности;

- повышенные значения оптимального разрежения в укрытии с двойными стенками и жесткой перегородкой приводят к увеличению объемов воздуха поступающего через неплотности, но в тоже время наличие жесткой перегородки в условиях реальных перегрузок

оказывает значительное влияние на объемы эжектируемого воздуха, что в свою очередь полностью компенсирует данный недостаток;

- величина оптимального разрежения на наш взгляд должна уточняться расчетом для каждого из укрытий, а не выбираться исходя из существующих рекомендаций, что в свою очередь требует более детального исследования данного вопроса;

- неравномерность распределения разрежения в укрытии с одинарными стенками приводит к увеличению расхода воздуха поступающего через неплотности и как следствие объемов аспирируемого воздуха, а также повышает вероятность выбивания пыли из укрытия в месте загрузки конвейера.

Список литературы:

1. *Минко, В. А.* Обеспыливание технологических процессов производства строительных материалов / В.А. Минко. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. - 176 с.
2. *Логачёв, И. Н.* Аэродинамические основы аспирации / И.Н. Логачёв, К.И. Логачёв. - Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. – 659с.
3. Альбом унифицированного нестандартного оборудования систем аспирации для предприятий силикатного кирпича. – Белгород, 1989. - 78 с.
4. *Нейков, О. Д.* Аспирация и обеспыливание воздуха при производстве порошков / О.Д. Нейков, И.Н. Логачев / 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1981. - 192 с.
5. *Афанасьев, И. И.* Обеспыливание на дробильных и обогащательных фабриках / И.И. Афанасьев, Ф.И. Данченко, Ю.И. Пирогов // Справочное пособие. - М.: Недра, 1989. – 197 с.
6. *Гольцов, А. Б.* Расчет объемов аспирации при переработке руды / А.Б. Гольцов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2005. - N.12. - С. 19-21.
7. *Гольцов, А. Б.* Проблемы комплексного обеспыливания при переработке рудных материалов / А.Б. Гольцов, В.М. Киреев, Е.Н. Попов, А.С. Семенов // Сборник трудов. – Воронеж: Изд-во ВГАСУ, 2007. - № 4. - С. 123-129.

ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

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

Одним из критериев уровня развития стран является состояние автомобильных дорог. Темпы снижения производства практически во всех отраслях промышленности за последние годы меньше всего затронули дорожное строительство.

Довести транспортно-эксплуатационные показатели дорог, и в первую очередь покрытий, до требований стандартов, повысить их долговечность возможно только внедряя эффективные материалы, технологии, совершенные высокопроизводительные машины и механизмы.

Верхний слой дорожного покрытия должен обеспечивать повышенный уровень безопасности и комфортности движения, требуемую скорость, простоту содержания дорожных покрытий. Всем этим требованиям в полной мере удовлетворяет покрытие из ЩМА.

В России более 95% дорог с покрытием из ЩМА выполнено с использованием стабилизаторов VIATOR. Они представляют собой гранулы из сформованных отдельных волокон натуральной целлюлозы, каждое из которых имеет битумную оболочку.

Сотрудниками кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы» БГТУ им. В.Г. Шухова разработан состав и технология приготовления стабилизирующих добавок для ЩМА на основе полиамидного волокна и макулатуры. Композит с использованием этих добавок не уступает ЩМА с импортными стабилизаторами.

Одной из важнейших проблем, влияющих на качество асфальтобетонных покрытий и особенно на их долговечность, была и остается проблема качества битума. Для улучшения его свойств применяют различные способы, например, введение поверхностно-активных веществ, полимеров и других модификаторов.

Совместно с научно-производственной компанией ООО «Селена» (г. Шебекино) разработана экологически чистая универсальная адгезионная добавка ДАД-1, которая значительно повышает сцепление органических вяжущих с каменными материалами из кислых и основных пород. Добавка производится из натурального

возобновляемого сырья, образующегося при производстве растительных масел.

Применение добавки улучшает обрабатываемость минеральных материалов битумом, что способствует снижению его расхода и равномерному распределению в объеме смеси, снижает технологическую температуру приготовления асфальтобетонной смеси, имеет высокую термостабильность.

При использовании добавки ДАД-1 повышается прочность и водостойкость асфальтобетона, устойчивость против старения и воздействия погодно-климатических факторов.

Добавка прошла широкую апробацию и внедрена во многих регионах Российской Федерации.

В стране также ведётся разработка альтернативных способов активации дорожных битумов: воздействие магнитных полей, ультразвука, излучения сверхвысокочастотного диапазона (СВЧ). Результаты показывают их высокую эффективность.

Нами установлен механизм воздействия поля сверхвысокой частоты на органическое вяжущее, заключающийся в изменении его структуры и состава. Эти изменения положительно отражаются на сцеплении с каменными материалами и структурировании битума.

Получены зависимости изменения прочности, водо-, теплостойкости, температурной чувствительности и погодной устойчивости асфальтобетона при воздействии на битум СВЧ-энергии, показывающие улучшение этих показателей при рациональном времени обработки вяжущего, что позитивно отразится на долговечности асфальтобетонного покрытия. Исследования в этом направлении продолжаются.

Известно, что общая стоимость строительных материалов достигает 50-60% от стоимости затрат на строительство. Поэтому важной народнохозяйственной задачей является максимальное использование местных материалов и техногенного сырья.

Работами сотрудников кафедры СМИК показано, что по составу, строению и свойствам попутнодобываемые породы существенно отличаются от традиционного сырья стройиндустрии и обладают высокой реакционной способностью, что позволило значительно расширить сырьевую базу минеральных материалов для производства строительных материалов.

Известно, что на поверхности твердых минеральных материалов, в том числе кремнеземсодержащих, имеются кислотные и основные центры Льюисовского и Бренстедовского типов, которые в

значительной степени определяют ее активность по отношению к вяжущим и способность обеспечивать прочные адгезионные контакты между вяжущим и поверхностью минеральных материалов.

Это позволило по-новому посмотреть на потенциальные возможности техногенного сырья КМА и с учетом этого получить эффективные композиты для дорожного строительства.

Результатом проведенных исследований и разработанных нормативных документов является широкое использование щебня и отсева дробления пород КМА в дорожном строительстве (при производстве бетона и асфальтобетона).

Однако, поверхность заполнителей и наполнителей не всегда имеет достаточную активность для обеспечения надлежащего взаимодействия с вяжущими. Известны различные способы ее модифицирования с целью повышения реакционной способности, в том числе УФ-СВЧ-обработка, механоактивация.

Установлено, что УФ-облучение оказывает значительное влияние на концентрацию активных центров на поверхности минеральных материалов. Анализ результатов показал, что зависимость концентрации обменных центров от времени облучения для всех материалов носит экстремальный характер. Рациональное время облучения зависит от мощности генератора.

Установлено время, в течение которого минеральные материалы не теряют своей активности.

Развитие аппаратов для измельчения и активации связано с появлением новых конструкционных материалов, повышением требований к дисперсности и форме частиц. Поэтому необходимо выявить наиболее рациональный помольный агрегат не только с точки зрения увеличения дисперсности исходного материала, но и повышения реакционной способности (шаровая планетарная мельница, шаровая, вибромельница, вибрационный истиратель, струйная противоточная, центробежная мельница).

Установлено, что из использованных в экспериментах шести мельниц наибольшей активирующей способностью обладает шаровая планетарная. Кроме того, после помола в этой мельнице частицы измельченного материала имеют осколочную форму и изрезанные края, тогда как материал, подверженный только истиранию в вибрационном истирателе, содержит частицы преимущественно округлой формы с ровными, сглаженными краями.

В результате механоактивации минеральных порошков повысилась их реакционная способность по отношению к битуму, что положительно отразилось на свойствах асфальто вяжущего.

Кроме того на кафедре проводятся исследования, которые имеют большое практическое значение. Предложены принципы рационального использования как природного, так и техногенного сырья в зависимости от его типоморфных особенностей. Это позволило на основе нетрадиционного для стройиндустрии сырья разработать ряд технологий по производству высокоэффективных дорожно-строительных материалов: грунтобетонов на основе глинистых пород региона КМА и известьсодержащих отходов; низкообжиговой тротуарной плитки на основе широкодоступного кварцевого сырья различных генетических типов; цементобетонов с использованием ТМЦ и ВНВ на основе техногенных полиминеральных песков, состав асфальтобетона с антигололедными свойствами. Обоснованы методы комплексного использования шлаков ОЭМК в дорожном строительстве, разработаны мастики для герметизации швов, составы и технологии для укрепления грунтов.

Высокопрочные морозостойкие, практически водонепроницаемые, работающие в суровых климатических условиях материалы, которые незаменимы при строительстве дорог, тоннелей, плотин, мостов можно получить с помощью нанотехнологий.

В течение многих лет нами проводятся исследования по использованию в составе асфальтобетона известьсодержащего микронаполнителя, который при гидратации образует наночастицы и, помимо этого, в присутствии органического вяжущего формируются кристаллы, которые по мере роста армируют органо-минеральный композит.

Нами также начаты исследования по влиянию нанокомпозитов на свойства органических вяжущих и асфальтобетона.

С использованием материала, содержащего углеродные нанотрубки в количестве 5-10%. Материал получен в Институте проблем химической физики, Черноголовка. Установлено, что при диспергировании его в органическом растворителе происходит как бы сшивка, что должно положительно отразиться на структуре и свойствах органического вяжущего. Проведенные исследования подтвердили это предположение.

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ОКОННОЙ ПЛЕНКИ НА МИКРОКЛИМАТ В ПОМЕЩЕНИИ В ЛЕТНЕЕ ВРЕМЯ

**Гродецкая Е.В., аспирант,
Трубаев П.А., д-р техн. наук, профессор,
Назаров С.Р., инженер**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
Группа компаний «Стройтехконсалт»*

В последнее время широкое распространение получили энергосберегающие стекла и пленки, которые называют еще низкоэмиссионными или селективными из-за способности задерживать определенную частоту излучения [1]. В летнее время такие покрытия защищают помещения от солнечного излучения, в зимнее – снижают потери теплоты через окна.

Исследования влияние таких покрытий на показатели микроклимата в помещении практически нет. В работе [2] с целью выявления эффективности применения селективных (теплоотражающих) стекол были проведены натурные испытания в зимних условиях эксплуатации. Было установлено, что термическое сопротивление окон с такими стеклами окна на 40% выше, чем обычных. Согласно данным, приведенным в работе [3], нанесение селективного покрытия на стекла увеличивает их термическое сопротивление на 70-115% и уменьшает в зимний период температуру с внешней поверхности стекла на 2°C.

Для определения степени влияния энергосберегающей оконной пленки на микроклимат в помещении в летнее время был произведен мониторинг температур в двух офисных помещениях, расположенных в бизнес-инкубаторе ОГУ «Белгородский региональный ресурсный инновационный центр» по адресу: г. Белгород, ул. Королева, 2а, корп. 2. Оба помещения имели одинаковую площадь и конструкцию окон, находились рядом на одной стороне западного фасада на шестом этаже здания. В офисе № 603 на оконных стеклах была наклеена энергосберегающая оконная керамическая пленка торговой марки KogQu (Корея), контрольный офис № 607 имел обычные немодернизированные оконные стекла. Оба офиса кондиционерами оборудованы не были. При измерении использовались два логгера температур Testo 174 H. Непрерывные измерения проводились в течении месяца с 22 августа по 23 сентября 2011 г., температуры

воздуха в помещениях записывались с интервалов в пять минут. Метеорологические данные для г. Белгорода за указанные период (температура наружного воздуха и степень облачности) были взяты на сайте <http://rp5.ru>.

Время эксперимента было выбрано с условием, что бы температура наружного воздуха была равна или ниже температуры в помещении, таким образом нагрев воздуха в помещении происходил в основном за счет инсоляции. Согласно СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» среднемесячное дневное поступление суммарной солнечной энергии на поверхность Земли для широты 50° в июне и июле в 1,5 раза выше, чем в сентябре. Поэтому в летнее время нагрев помещений за счет солнечного излучения был бы выше, чем в период измерений.

В табл. 1 представлены средние температуры воздуха в помещениях. Из данных табл. видно, что ночью средняя температура в обоих помещениях близка, но днем температура в помещении с окнами, оборудованными пленкой ниже, чем в контрольном, на величину от 0,3 до 0,4°С.

Таблица 1

Средняя температура воздуха в помещении, °С

Наименование	За весь период	в том числе		Рабочие дни	в том числе		Выходные дни	в том числе	
		днем	ночью		днем	ночью		днем	ночью
Помещение, оборудованное пленкой	24,5	24,9	24,2	24,6	25,0	24,2	24,4	24,6	24,2
Контрольное помещение	24,7	25,2	24,1	24,7	25,2	24,1	24,6	25,1	24,2
Разность	0,1	0,3	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2	0,4	0,0

Для исключения влияния на показатели микроклимата режима работы офисного помещения (количества людей, работающей техники, режима проветривания) для анализа были выбраны данные за выходные дни, когда в помещениях не было людей (рис. 1).

Как видно из графика, разница температур в помещениях непостоянна. При сопоставлении дневной разницы температур со средней степенью облачности было установлена обратная зависимость между этими величинами, что показывает наличие влияние пленки на микроклимат в помещении.

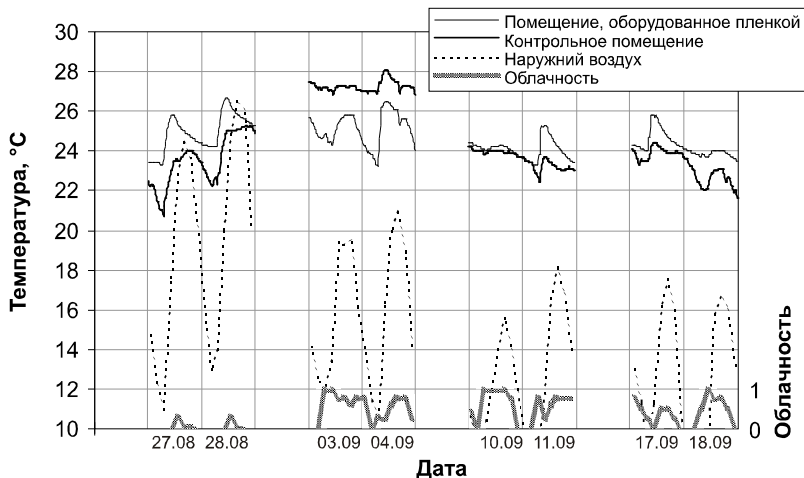


Рис. 1. Температура воздуха в помещении и климатические параметры в выходные дни

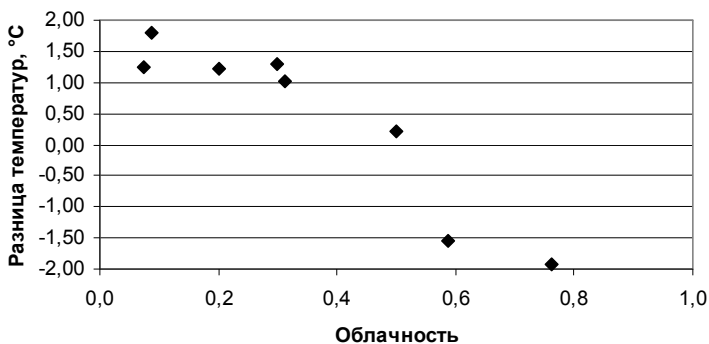


Рис. 2. Зависимость разности средних дневных температур в помещении, оборудованном пленкой, и контрольном помещении, в зависимости от степени облачности

Так как данные были получены в период с низкой температурой окружающего воздуха, среднее значение которой за период испытаний было равно 15 °С (за дневное время 18°С), в более жаркий период

можно прогнозировать более сильное снижение температур в помещениях, оборудованных энергосберегающей пленкой.

Можно сделать вывод, что оборудование оконных проемов энергосберегающей селективной пленкой оказывает влияние на микроклимат в помещении, делая его более комфортным, или снижает затраты энергии на работу кондиционеров. Снижение температуры в помещениях, оконные блоки которых оборудованы энергосберегающей пленкой, в солнечные дни составляет не менее 2°C.

Список литературы:

1. *Борискина, И. В.* Проектирование современных оконных систем гражданских зданий / И.В. Борискина, А.А. Плотников, А.В. Захаров. – К.: Изд-во Домашевская О.А., 2005. – 320 с.
2. *Табунщиков, Ю. А.* Совершенствование теплоизоляции световых проемов зданий (в условиях Крайнего Севера) / Ю.А. Табунщиков, В.А. Чернов // Тепловой режим, теплоизоляция и долговечность зданий: сб. трудов НИИСФ. – М., 1981. – С. 5–7.
3. *Корепанов, Е. В.* Сопротивление теплопередаче окна с двойным остеклением при селективном покрытии стекол / Е.В. Корепанов // Светопрозрачные конструкции. – 2008. – № 3. – С. 61–64.

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УЧРЕЖДЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ Г. БЕЛГОРОДА

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

В настоящее время существует ряд рейтинговых систем в области энергоэффективности. В Свердловской области согласно Решения Совета глав муниципальных образований при Губернаторе области ГБУ СО «Институт энергосбережения» разработал методические подходы и сформировал рейтинг энергоэффективности муниципальных образований Свердловской области [1]. Рейтинг основан на статистических показателях потребления основных энергоресурсов и не учитывает различие в техническом состоянии и специфики функционирования бюджетных учреждений. Центр по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ, Москва) разработал энергетические балансы ряда регионов России, подготовленные на основании данных государственной статистики. В УГТУ-УГМ (г. Екатеринбург) разработана система мониторинга энергоэффективности производства на уровне основного производственного звена - промышленного предприятия, как информационная база совершенствования управления энергопотреблением в регионе [2].

Существует ряд национальных рейтинговых систем: LEED (The Leadership in Energy and Environmental Design, США), BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method, Великобритания), DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, Германия), а также ряд работ проф. Ю. А. Табунщикова (Россия) [3], посвященный рейтинговой системе оценки качества проектов зданий. Данные системы предназначены для оценки сдаваемых в эксплуатацию жилых и общественных зданий, но не для оценки эксплуатируемых бюджетных учреждений.

В работе представлена рейтинговая оценка энергоэффективности бюджетных муниципальных учреждений управления образования г. Белгорода.

В управлении образования действует 152 учреждения общей площадью 421 733 м², в том числе 46 школ, 64 дошкольных образовательных учреждений (ДОУ), 38 учреждений дополнительного образования (УДО), 4 административных подразделения. В 2009 г. в

учреждениях управления образования работало 7 460 сотрудников и обучалось 46 410 воспитанников.

Всего образовательными учреждениями в год расходуется энергоресурсов на сумму 142,82 млн. руб. (в ценах 2009 года). Структура затраты на энергоносители представлена рис. 1 и 2.

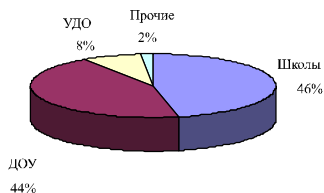


Рис. 1. Затраты на энергоносители по подразделениям

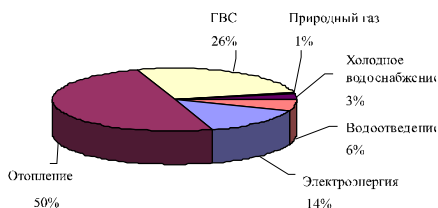


Рис. 2. Затраты на энергоносители по видам

Как видно из результатов анализа, основная часть затрат на энергоносители приходится на отопление и ГВС (в сумме около 75%).

Большая часть объектов образования возводилась в советский период, который характеризовался крайне дешевыми энергоресурсами. Поэтому в то время повышать теплозащиту зданий было просто экономически не выгодно. Приведем экспресс-оценку энергоэффективности образовательных учреждений г. Белгорода, произведенную по данным годового потребления теплоты (рис. 3). Удельный показатель определялся следующим образом:

$$q = 4.19 \cdot 106 \cdot Q / (4183 \cdot S \cdot h),$$

где Q – потребление теплоты за год, Гкал; S – площадь, m^2 ; h – средняя высота этажа, м.

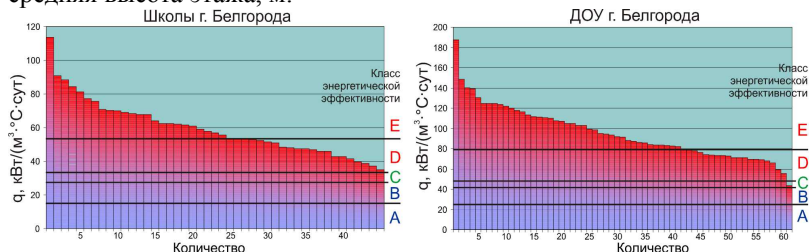


Рис. 3. Ранжирование образовательных учреждений г. Белгорода по степени энергетической эффективности зданий

Согласно результатам анализа больше половины зданий относятся к самому низкому классу энергоэффективности – группы E, а оставшиеся – к классу низкой энергоэффективности группы D.

В настоящее время на большинстве объектах зафиксированы теплотери, связанные с основными факторами:

- неудовлетворительное состояние теплового контура здания (оконных и дверных проёмов);
- неудовлетворительное содержание приточно-вытяжной вентиляции;
- неотрегулированная отопительная нагрузка, приводящая к значительному превышению температуры в зданиях относительно нормативной, и вследствие этого – перерасход тепловой энергии на отопление.

Согласно п. 3 ст. 13 закона 261-ФЗ оснащение объектов управления образования приборами учета должно завершиться до 1 января 2011 года. В 2010 г. в учреждениях управления образования доля энергоресурсов, расчеты за которые осуществляются по приборам учета, к общему объему, была следующая:

Тепловая энергия	35%
ГВС	24%
Электроэнергия	100%
Холодная вода	95%
Природный газ	100%

Для анализа фактического потребления энергоресурсов были отобраны учреждения, оснащенные приборами учета по всем видам энергоресурсов, для которых были определены индикаторы энергоэффективности, то есть удельные расходы энергоресурсов (табл. 1).

Для определения был рассчитан коэффициент корреляции между индикаторами энергоэффективности и характеристиками учреждений (площадь зданий, количеством находящихся в них людей, долей новых окон (табл. 2). Имеется обратная зависимость между расходом тепловой энергии и площадью здания и количеством людей и между расходом электроэнергии и количеством людей. Таким образом более крупные учреждения характеризуются лучшей энергоэффективностью.

Для сравнения суммарных затрат на энергоносители с использовалась рейтинговая оценка R:

$$R = \sum d_i \cdot e / e_{\text{ср}},$$

где d_i – доля энергоресурса в общей сумме затрат; e – удельный расход энергоресурса; $e_{\text{ср}}$ – средний расход энергоресурса по всем учреждениям, включенным в выборку.

Ранжированные результаты расчета показателя R представлены на рис. 4.

Таблица 1

Индикаторы энергоэффективности управления образования

Показатель	Площадь, м ²	Количество сотрудников и учащихся, чел.	Доля модернизированных оконных блоков	Индикаторы энергоэффективности		
				Тепловой энергии, Гкал/м ²	Электроэнергии, кВт·ч/чел	Холодной воды, м ³ /чел
Школы (20 учреждений)						
Всего	124693	15149	–	–	–	–
Среднее	6235	757	12	0,14	143,15	7,08
Минимальное	1023,6	212	0	0,10	69,57	3,78
Максимальное	9904	1658	51,3	0,31	286,13	17,33
Дошкольные образовательные учреждения (34 учреждения)						
Всего	158536	18370	–	–	–	–
Среднее	3373	391	10	0,26	256,55	11,55
Минимальное	947,8	156	0,0	0,10	108,44	3,78
Максимальное	9904	1658	57,4	0,36	366,76	21,88
Всего по управлению образования						
Всего	204704	24602	–	–	–	–
Среднее	3791	456	12	0,19	186,72	8,80
Минимальное	947,8	156	0,0	0,10	69,57	3,78
Максимальное	9904	1658	57,4	0,36	366,76	21,88

Таблица 2

Корреляция параметров

Параметры	Индикаторы энергоэффективности		
	Тепловой энергии	Электроэнергии	Холодной воды
Площадь	-0,80	-0,60	-0,32
Количество сотрудников и учащихся	-0,66	-0,68	-0,30
Доля модернизированных оконных блоков	-0,09	-0,15	0,01
Индикатор энергоэффективности потребления тепловой энергии	–	0,45	0,33
Индикатор энергоэффективности потребления электроэнергии	–	–	0,33

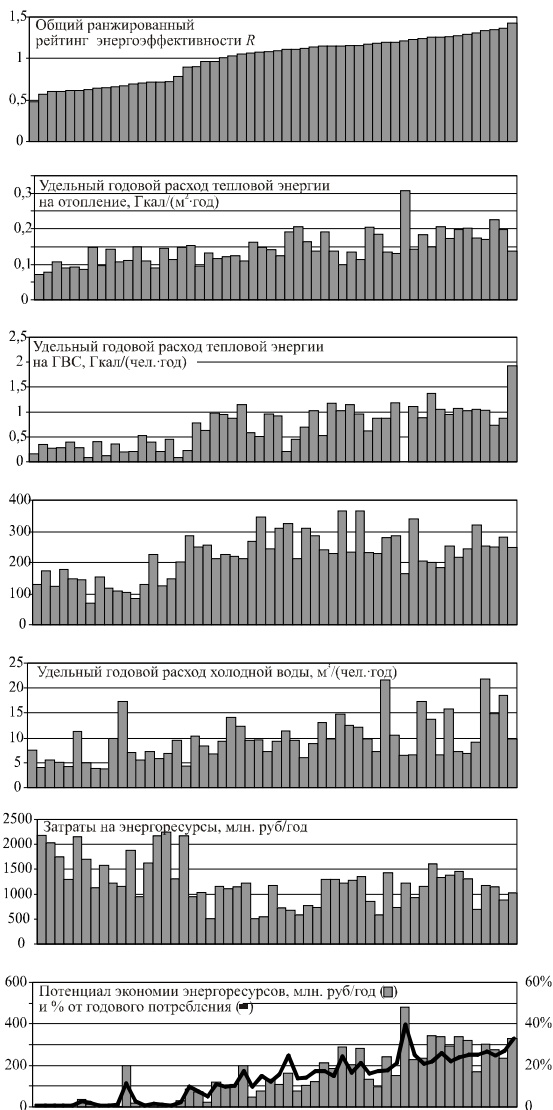


Рис. 4. Индикаторы энергоэффективности и потенциал экономии
 Как видно из рис. 4, суммарная энергоэффективность различных учреждений может отличаться в три раза. Также на рис. 4 представлены

индикаторы потребления для отдельных энергоресурсов и суммарные затраты на энергоресурсы в год.

Для расчета потенциала экономии энергоресурсов E использовалось отклонение индикаторов энергоэффективности от нормативного или среднего значения

$$E = \sum C \cdot X \cdot (e - e_{\text{ср}}), \text{ для } e > e_{\text{ср}},$$

где C – стоимость единицы энергоресурса; X – показатель, используемый для расчета удельного расхода (площадь или количество человек).

Потенциал экономии в среднем составляет 13%, для разных учреждений он может составлять до 40%. Как правило, для крупных учреждений он незначителен, но зависимости между годовыми затратами на энергоресурсы и потенциалом экономии нет. Таким образом для определения оптимальной структуры инвестиций в энергосберегающие мероприятия для достижения наибольшей экономии энергоресурсов необходим дифференцированный подход с учетом индивидуальных показателей каждого отдельного учреждения.

Выводы:

1. Основная часть затрат на энергоносители (около 75%) в образовательных учреждениях приходится на отопление и ГВС.

2. Все здания, в которых находятся образовательные учреждения, относятся к низкому и очень низкому классу энергоэффективности.

3. Суммарная энергоэффективность различных учреждений может отличаться в три раза. Более крупные учреждения характеризуются лучшей энергоэффективностью.

4. Для определения оптимальной структуры инвестиций в энергосберегающие мероприятия необходим дифференцированный подход.

Список литературы:

1. Определение рейтинга энергоэффективности муниципальных образований Свердловской области за 2008 год / ГБУ СО «Институт энергосбережения». – Свердловск, 2008 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.ines-ur.ru/enersave_545.html.
2. *Коптев, А. В.* Мониторинг энергоэффективности производства на промышленных предприятиях. Дисс. ... канд. экон. наук. – Екатеринбург, 1999. – 141 с.
3. *Табунщиков, Ю. А.* Рейтинговая система оценки качества здания в России / Ю.А. Табунщиков, В.В. Гранев, А.Л. Наумов // АВОК. – 2010. – № 6.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ОСНОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

**Гузенок С.А.,
Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доцент**
Военный авиационный инженерный университет

Развитие технологии строительства дорог и получение новых материалов используемых для формирования верхнего слоя дорожных одежд, часто приводит к неоднозначности получаемых результатов при их приёмке и последующей диагностике в процессе эксплуатации. Это приводит к завышению показателя общего модуля упругости в тех случаях, когда слои основания обработаны вяжущим, при тонких слоях асфальтобетона. В тоже время величины измеряемых прогибов (статическим нагружением), могут давать большие величины, при этом толщина асфальтобетона превышает нормативную.

Эта неоднозначность часто приводит к дискуссиям, а порой и спорам о том, что важнее – измерение несущих свойств основания или достаточно измерить величины характерные для прогиба дорожной конструкции.

Исторически сложилось, что в качестве основы для расчёта величины общего модуля упругости дорожной конструкции используется формула Буссинеска. Простота её использования и главное – понимание каждого коэффициента способствовало её широкому распространению в дорожной отрасли и её использованию в нормативных документах.

В первую очередь это связано с отсутствием необходимой и точной аппаратуры у органов технического надзора. Тем не менее последние теоретические и экспериментальные исследования и выход работ наших соотечественников в области диагностики дорожных конструкций показывает, что использование методов фото и видеометрии позволяет производить измерение величин прогиба дорожной конструкции с нахождением измерителя вне чаши прогиба при этом точности приближаются к единицам микрометров.

В последнее время к дорожной отрасли предъявляются всё более возрастающие требования, связанные как с комфортом движения, так и с прочностью конструкции, для обеспечения передвижения увеличивающегося грузопотока.

Выявление ослабленных участков дорог и реконструкция на ранних этапах позволила бы сэкономить материально-технические и финансовые ресурсы.

Совершенствование методов расчёта параметров построенной и эксплуатируемой конструкции на основе измерения характеристик, которые получены в результате неразрушающей диагностики конструкций автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием.

Выявление и определение этих характеристик на ранних этапах эксплуатации – актуально.

Известно, что в основе большинства измерений характеризующие несущие свойства асфальтобетонного покрытия используются величины прогиба покрытия, при воздействии штамповой нагрузки имитирующей воздействие одиночного колеса с нормативной нагрузкой на ось.

В основе этого лежит определение прочностных свойств, которые неразрывно связаны с модулем упругости материалов, из которого изготовлена конструкция и теми физическими законами, характеризующими поведение системы при воздействии нагрузки.

Известно множество способов штамповых испытаний, где используется как жёсткие, упруго-жёсткие, шаровые и другие штампы. Для каждого из них существует методика позволяющая получать те или иные характеристики дорожной конструкции, но на сегодняшний день отсутствуют простые неразрушающие методики, которые разделяют характеристики покрытия и основания.

Наиболее распространённым методом является метод штамповой нагрузки рассчитанный по методу Буссинеска с использованием штампа определённого диаметра.

Рассмотрим выражение Буссинеска

$$E_{\text{общ}} = \frac{E}{4} * D * P * (1 - \nu_{\text{общ}}^2) \frac{1}{\omega}$$

где $E_{\text{общ}}$ – общий модуль упругости конструкции дорожной одежды, МПа; D – диаметр штампа; P – нагрузка, МПа; $\nu_{\text{общ}}$ – коэффициент Пуассона; ω – прогиб, м.

Основными характеристиками является нагрузка, диаметр штампа, коэффициент Пуассона, который неизменен по глубине и свойствам материала и общий прогиб конструкции (ω).

Анализ данного выражения показывает его неоднозначность для условий многослойной конструкции, когда модули упругости покрытия и основания отличаются в несколько раз (700-3200). Это приводит к непониманию – что есть модуль упругости конструкции и модуль упругости покрытия, которое ответственно за передачу основных

напряжений от пневматика колеса транспортного средства. Необходимо отметить, что условия деформации конструкции рассматриваются как однородные, т.е. модуль упругости пропорционален прогибу, что при больших нагрузках не соответствует действительности, а это в свою очередь приводит к тому, что происходит недооценка нагрузки от транспортных средств, превышающая расчётную.

В основе моделирования выдвинуто предположение о том, что существует условный слой асфальтобетонного покрытия с величиной модуля упругости равной величине на поверхности.

Тогда можно предположить, что для двухслойной конструкции,

$$E_{\text{экв}} = \frac{E_1 * h_1 + E_2 * h_2}{h_1 + h_2}$$

Анализ влияния показал, что очень важно знать модуль упругости 1-го слоя дорожной конструкции (покрытия).

На сегодняшний день, возможно, узнать только прямым способом при послыном вскрытии всей конструкции или её бурении (кернении) и в последующем подвергая нагружением эквивалентной нагрузкой.

Однако, возможно определение модуля упругости 1-го слоя асфальтобетонного покрытия в предположении анизотропном полупространстве уплотнённого материала асфальтобетона при определении касательных деформаций при приложении нагрузки. Тем не менее, данный метод не позволяет определять абсолютную деформацию асфальтобетонного покрытия, т.к. касательное нагружение приложено ко всей конструкции.

Используя сложное нагружение можно в процессе вращательного воздействия на покрытие штамповой нагрузки, определить модуль упругости,

$$G = \frac{E}{2(1 + \eta)}$$

Понятно, что в полупространстве, где воздействие нагрузки вызывает деформацию вокруг центра вращения, действует обобщающий модуль упругости, характеризующий сдвиг асфальтобетона.

Для рассмотрения условий моделирования необходимо сделать допущение, которое характеризует метод измерения данного параметра. Это величина напряжения на поверхности покрытия не превышает предельную величину образования необратимых деформаций ли разрушений. Нормальное давление вызывает нормальные напряжения

конструкции и покрытия не выше ограничений, при которых происходит разрушение дорожных конструкций.

Будем считать, что модуль упругости изменяется в диапазоне измерения указанной установки на глубину не менее 2 см, при этом напряжение (нормальное) соответствует $0,3-0,4 \sigma_{\max}$, а касательное напряжение в результате вращения $0,6-0,7 \sigma_{\max}$.

Необходимо отметить, что в конструкциях автомобильных дорог существует конструкции, в которых эффективное сечение асфальтобетонного покрытия может превысить реальную толщину. Это в свою очередь связано с чрезвычайно некачественным покрытием или нарушением технологии укладки, температурным воздействием (как положительных, так и отрицательных температур) и неправильной оценке воздействия транспортного средства (недоучёт) на данную дорожную конструкцию.

В главном предположении о свойстве конструкции подверженной штамповой нагрузке, следует принять, что штамп перемещается на чрезвычайно малое расстояние, упругость его не изменяется во времени и край штампа не вызывает дифференциальных деформаций высоких порядков.

Рассмотрим штамп площадью S на поверхности R покрытия подверженный сложному нагружению нормальному воздействию нагрузки 110 кН и 50 кН вращательного воздействия, получим следующие граничные условия.

Краевыми точками деформации является область воздействия подошвы штампа, при этом как показывают исследования [шины] величина касательного воздействия при вращательном нагружении эквивалентно воздействию пневматика на поверхность дорожного покрытия.

Необходимо отметить, что условие равновесия штампа может быть описаны простыми соотношениями при этом характеристика многослойной конструкции выражается функциями свойств каждого слоя характерных при расчёте этой конструкции, что позволяет оценить расчётные (свойства, характеристики величин) при проектировании и измерении в процессе приёма и эксплуатации.

В соответствии с положением теории упругости проекции перемещения среды могут определяться формулами:

$$\left. \begin{aligned} u &= -\frac{1}{4\pi G} \left(z \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{m-2}{m} \frac{\partial \omega_z}{\partial x} \right); \\ v &= -\frac{1}{4\pi G} \left(z \frac{\partial \omega}{\partial y} + \frac{m-2}{m} \frac{\partial \omega_z}{\partial y} \right); \\ \omega &= -\frac{m-1}{2\pi m G} \omega - \frac{1}{4\pi G} z \frac{\partial \omega}{\partial z} \end{aligned} \right\}$$

где G – модуль сдвига; m – число Пуассона.

Необходимо отметить, что коэффициент Пуассона является обратной величиной числа Пуассона $\nu = \frac{1}{m}$, а модуль сдвига с модулем упругости (модулем Юнга) связан соотношением

$$G = \frac{E_m}{2(m+1)} = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

В области соприкосновения штампа поверхность вращения ограничена площадью соприкосновения штампа – эквивалентна площади пневматика, т.е. это способствует приведению системы расчёта к цилиндрическим координатам.

Отбрасывая выводы можно показать, что модуль упругости основания дорожной конструкции равен:

$$E_{\text{осн}} = \frac{\pi}{2} * \frac{D * P * G_{\frac{2}{3}}(1+\nu) * (1 - \nu_{\text{осн}}^2)}{2 * \omega * G_{\frac{2}{3}}(1+\nu) - \frac{\pi}{4} * D * P * (1 - \nu^2)}$$

Понимая, что определяемый модуль упругости верхнего слоя покрытия может свидетельствовать о влиянии толщины сформированного асфальтобетонного покрытия на характеристики всей конструкции.

Следует отметить, что существует компромиссное решение при котором эквивалентная толщина покрытия при соизмеримых толщинах основания даёт общий вклад соответствующий воздействию транспортной нагрузки в условиях «идеального» воздействия. Верхний слой асфальтобетона чрезвычайно подвержен температурному воздействию, и это даёт возможность на основе комплексной оценки упругих характеристик при различных температурах оценить как само основание, так и релаксационные свойства покрытия, что позволит определить реологические свойства асфальтобетонного материала.

Таким образом, используя указанные выражения, позволит по новому, оценить методику используемую дорожниками.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА В МЕХАНИКЕ РАЗРУШЕНИЯ

Дегтярь А.Н., канд. техн. наук, доцент,
Юрьев А.Г., д-р техн. наук, профессор
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Предположим, что тело, занимающее область Ω , ограничено гладкой поверхностью S . Пусть на достаточном расстоянии от границы имеется область, прерывистый характер которой точно определен. Пусть известны в области S достаточно гладкий вектор-поле R_i или достаточно гладкий тензор-поле T_{ij} .

Внутри области тела выделим поверхность S_t , достаточно удаленную от границы S . Под прерывностью вектор-поля R_i или тензор-поля T_{ij} будем подразумевать некоторое их свойство в непосредственной близости от поверхности S_t , выражающееся в том, что при изменении поверхности S_t в направлении ее нормали величина вектора R_i или тензора T_{ij} изменяется скачками, так что можно различать величины R'_i или T'_{ij} как предел величин на S_t со стороны внутренней части на нормали к S_t и величины R''_i или T''_{ij} как предел величин на S_t со стороны внешней части на нормали к S_t .

В задачах теории упругости встречаются следующие виды прерывности:

- а) прерывность поля тензора напряжений,
- б) прерывность поля тензора деформаций,
- в) прерывность поля вектора смещений.

Они могут быть записаны следующим образом [1]:

$$\tau'_{ij} + \tau''_{ij} = c_{ij}, \quad \tau'_i - \tau''_i = d_{ij}, \quad \in S_t,$$

$$\varepsilon'_{ij} + \varepsilon''_{ij} = e_{ij}, \quad \varepsilon'_i - \varepsilon''_i = f_{ij}, \quad \in S_t,$$

$$u'_{ij} + u''_{ij} = a, \quad u'_i - u''_i = b, \quad \in S_t.$$

Из механики деформируемого твердого тела следует, что существуют взаимные зависимости между указанными прерывностями и что характер задачи определяется разновидностью используемых прерывностей, значения которых различаются для отдельных частиц тела на поверхности S_i и должны быть определены.

Получить информацию о размерах трещин, чтобы выявить степень их приемлемости при дальнейшей эксплуатации конструкции, особенно на стадии их раскрытия, довольно затруднительно. Обнаружение трещин визуальными методами не всегда приемлемо в силу их малости.

При наступлении предельного состояния конструкции непосредственный доступ к ней для замера деформаций не всегда желателен.

При изучении деформаций поверхности, одним из методов может быть метод, основанный на принципе голографии, называемый голографической интерферометрией. Она устраняет требование оптически гладкой поверхности.

Когда объект испытывает статическое смещение, достаточное для создания небольшой разности фаз двух волн (смещение, пропорциональное длине волны падающего света), можно наблюдать интерференционную картину.

Для реализации метода требуется когерентный источник света, в идеальном случае с одночастотным выходным пучком и одной поперечной модой колебаний.

При статических нагрузках используют лазеры непрерывного освещения, при динамических нагрузках необходимо использовать импульсные лазеры.

Объект освещается двумя пучками света – опорным и предметным. На фотопластинке или любом другом носителе регистрируется волна, отраженная от объекта. Затем через данный носитель наблюдается исследуемый объект при статической или динамической нагрузке, освещенный опорным пучком. При этом любое смещение или деформация приведет к возникновению интерференционных полос, наблюдаемых в реальном масштабе времени.

Вектор деформации $\Delta \bar{d}$ объекта является тензором первого ранга

$$\begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} \end{pmatrix},$$

$$e_{ij} = \frac{\partial d_i}{\partial x_j}$$

где

Диагональные элементы тензора описывают нормальные деформации, а недиагональные – углы между смещенной компонентой и двумя другими осями.

Производные смещения, определяющие как повороты, так и деформации, можно записать следующим образом

$$\frac{\partial d_i}{\partial x_j} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial d_i}{\partial x_j} + \frac{\partial d_j}{\partial x_i} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial d_i}{\partial x_j} - \frac{\partial d_j}{\partial x_i} \right) = \varepsilon_{ij} + \omega_{ij}$$

Если порядок полосы в точке интерференционной картины, соответствующей некоторой точке r_0 предмета, равен $N(r_0)$, то в другой точке порядок полосы равен $N(r)$. В этом случае можно записать:

$$N(r) = N(r_0) + \frac{\partial N}{\partial x_i} (x_i - x_i^c) + \frac{\partial^2 N}{\partial x_i^2} \frac{(x_i - x_i^c)^2}{2!} + \dots$$

где $(x_i - x_i^c)$ – компоненты вектора $(\bar{r} - \bar{r}_0)$.

Порядок интерференционной полосы в некоторой точке плоскости наблюдения определяется формулой

$$N = \frac{\phi_0}{2\pi} = \frac{(\bar{n}_0 - \bar{n}_\Omega) \bar{d}}{\lambda},$$

где ϕ_0 – набегание фазы, связанное со смещением в этой точке.

Величина N является непрерывной функцией:

$$N\lambda = (n_i^c - n_i^\Omega) d_i,$$

где $n_i^c - n_i^\Omega = C_i$ – вектор чувствительности.

Таким образом, расстояние между полосами Δx_j связано с компонентами вектора смещения предмета как целого d_i и

производными $\frac{\partial d_i}{\partial x_j}$ и имеет вид

$$\frac{\lambda}{\Delta x_j} = C_{ij} d_i + C_i d_{ij}.$$

В результате, методом голографической интерферометрии можно наблюдать реальную картину деформаций как всей конструкции, так и ее отдельных элементов с чувствительностью в пределах 0,1-100 мкм.

Список литературы:

1. Horak V. Invers variational principles in the fracture mechanics and thermodynamics of solids. - Praha: Akademik VED, 1972. – 108 S.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ЭФФЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАПИТАЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**Донченко О.М., канд. техн. наук, профессор,
Дегтев И.А., канд. техн. наук, профессор,
Солодов Н.В., канд. техн. наук, профессор**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Современные архитектурно-строительные конструктивно-технологические решения и системы зданий массового назначения в условиях финансово-экономического кризиса должны обеспечивать вместе с высокими потребительскими качествами минимальную стоимость и минимальные затраты на эксплуатацию зданий.

Для обеспечения высоких потребительских качеств зданий различного назначения и этажности необходимы новые проекты открытых универсальных конструктивных систем и решений. Такие системы должны обеспечивать разнообразие архитектурных и объемно-планировочных решений зданий без коренной перестройки и реконструкции производственной базы строительства. В реальной экономической ситуации необходимо, чтобы эта база строительной индустрии была максимально использована, а наряду с местными и традиционными материалами широко применялись новые эффективные материалы – легкие и высокопрочные. Современная архитектурно-строительная система должна в основном базироваться на индивидуальных проектах, но и не отвергать бессмысленно использование лучших типовых и повторно примененных проектов.

Что же касается стоимости строительства, то она, к сожалению, прежде всего определяется стоимостью использованных конструкций и материалов (от 45 до 75%), основной зарплатой (от 15-30%), затратами на топливно-энергетические ресурсы (20-25%) и на эксплуатацию машин и механизмов (10-15%).

Все эти структурные затраты существенно выше чем в зарубежных развитых странах. Например, в Европе и США стоимость материалов и конструкций не превышает 30-45% себестоимости строительства, а на топливно-энергетические ресурсы 15%. В России затраты на них

припроизводстве цемента и керамического кирпича достигают 60%, что очень накладно. Еще выше у нас затраты при производстве арматурных и строительных сталей.

Поэтому для снижения стоимости строительства требуется существенно сократить его материалоемкость путем применения эффективных конструктивных систем зданий и сооружений, оптимальных по расходу материалов.

Затраты на эксплуатацию зданий тоже определяются их конструктивно-архитектурным решением, качеством материалов, строительно-монтажных и отделочных работ. Основным компонентом этих затрат являются затраты на отопление и горячее водоснабжение. В бывшем СССР удельные расходы энергии на отопление многоквартирных домов для средней полосы составляли 350-600 кВт час/м², а односемейных 600-800 кВт час/м² в год. А в Германии 260 кВт час/м², Швеции и Финляндии - 113 кВт час/м² в год.

В последнее время благодаря предпринятому комплексу мер (многослойные стены, пластиковые окна, утепленные чердачные перекрытия) эти затраты удалось по статотчетности уменьшить до 250-500 кВт час/м² в год. Тем не менее, до 45% энергетического потенциала России используется на отопление гражданских зданий.

Поэтому проблема энергосбережения при их эксплуатации приобретает всенародную значимость.

Чтобы комплексно и успешно решить проблемы повышения эффективности жилищно-гражданского строительства и обеспечить современные эксплуатационные показатели зданий и сооружений на европейском уровне (50-120 кВт час/м² в год) требуется пересмотреть сложившиеся подходы к их проектированию и отказаться от устарелых конструктивно-технологических решений.

Естественно, что в первую очередь необходимы новые объемно-планировочные решения. Если в массовом порядке перейти от проектирования и строительства жилых узкокорпусных многоэтажных зданий шириной 9,0-12,0 м к ширококорпусным шириной 18,0 м, можно только за счет этого сэкономить до 40% расходуемых на отопление энергоресурсов. При этом одна и та же квадратура наружных стен обеспечивает тепловую защиту существенно большей (в 1,5 раза) площади помещений. И если мы откажемся от устаревших проектов производственных зданий, которые обычно у нас строились одно, двух-

или трехпролетными, потому что средства отпускались только по конкретным министерствам, а им большие площади были не нужны, и перейдем к возведению 10-ти, 20-ти и 30-ти пролетных зданий, у которых две наружные продольные стены обеспечивают тепловую защиту значительно большей площади, то можем существенно больше экономить энергоресурсы на отопление. Такие здания не обязательно подчинять каким-нибудь отраслям промышленности, их отдельные пролеты будут сдаваться в аренду различным предприятиям. А эффекты будут огромны не только при отоплении, но и при прокладке промышленных, сантехнических и электротехнических сетей, охране здания и т.п.

Естественно, в современных проектируемых зданиях должны быть разделены функции несущих и ограждающих конструкций. Практически это означает, что приложенные к зданию вертикальные и горизонтальные нагрузки должны воспринимать несущие конструкции, расположенные внутри здания, а наружные ограждения должны обеспечивать тепловую защиту, дневной свет и инсоляцию здания и воспринимать ограниченные по величине силовые воздействия.

Технико-экономический анализ, опыт отечественного и зарубежного строительства убеждают, что жилые и общественные здания массового назначения высотой до 3-5 этажей со стенами из ячеистобетонных изделий, пока в стенах не создаются значительные усилия от собственной массы стен и перекрытий, следует возводить в более простых стеновых системах, когда перекрытия опираются на продольные наружные и внутренние несущие стены.

Здания большей этажности следует выполнять в каркасных системах. Тогда все силовые вертикальные и горизонтальные нагрузки, прикладываемые к зданию, воспринимает внутренний несущий, как правило, при железобетонных конструкциях рамно-связевой или связевой каркас, а при металлических конструкциях – рамный каркас, исключая необходимость устройства большого количества вертикальных диафрагм жесткости, а объемы здания ограничены наружными поэтажно опертыми или навесными легкими стеновыми конструкциями и разделены на помещения перегородками.

Такой принципиальный подход должен быть принят за основу в реализации научной политики. В этом случае независимо от высоты и этажности зданий их наружные ограждения будут испытывать

примерно одинаковые силовые воздействия и поэтому могут быть выполнены из одинаковых конструкций и материалов. Они могут отличаться только степенью огнестойкости для домов различной этажности.

В результате несоблюдения таких принципов и применения прежних стеновых систем для зданий высотой более 5 этажей в стране имеет место значительный перерасход материалов, в определенной мере «узаконенный» ранее утвержденными нормативами. Действительно, масса 1 м² кирпичной стены в доме высотой до 5 этажей составляет 650-700 кг/м², а в таком же доме высотой 9 этажей до 920 кг/м², высотой 16 этажей – до 1150 кг/м², еще большей высоты – до 1600 кг/м². Удельная масса панельных стен имеет также высокое значение – 400-450 кг/м². Такие расходы материалов просто расточительны.

Для сравнения приведем пример массы наружных стен в 20-24 этажных зданиях Скандинавских стран (Норвегия, Дания, Швеция и Финляндия) толщиной в 1,0-1,5 кирпича – 425-650 кг/м². Но если у нас средняя прочность кирпича в стране колеблется от марки М125 (глиняный кирпич) до 175 (силикатный), то в этих странах для наружных стен применяется глиняный кирпич марок М 500-600 при средней прочности, соответствующей марке М400. Кладка таких тонких стен, выложенных на полимерцементном высокопрочном растворе «Сарабонд» марки М 400, утепленная высококачественным пенополистиролом марки «Стирофоум», является высокопрочной, создающей достаточную тепловую защиту помещениям зданий, расположенным у Северного Ледовитого океана.

Вот почетная задача для наших ученых – дать строительству высокопрочный глиняный кирпич марок М 400-500, обладающий стабильными надежными прочностными свойствами, кладка из которого не подвержена высолам.

Внутренние перегородки толщ. 120 мм надо запретить устраивать из тяжелого силикатного кирпича. Они создают повышенную нагрузку в 150-200 кг/м². Надо повсеместно перейти на устройство перегородок из ячеистобетонных камней или панелей с нагрузкой не более 50-100 кг/м².

Несмотря на постоянно увеличивающиеся в последние 20 лет объемы строительства из кирпича (сейчас более 65%) главным материалом строительства продолжает оставаться бетон. И если его

прочность класса В 15, из которого устраиваются фундаменты наших зданий и сооружений, нас вполне удовлетворяет, то средняя прочность бетона, соответствующая классу В25, идущего на элементы каркасов зданий – колонны, ригели, балки, плиты, в стране является совершенно недостаточной. Для сравнения - средняя прочность бетона в Западных странах соответствует классу В 40. Если бы наши ученые вернулись к исследованиям хорошо известного старого тяжелого цементного бетона и разработали бы составы, стабильно дающие в производственных условиях классы В 60-90, приведя к средней прочности равной В 40, то мы могли уменьшить сечение нынешних колонн для 16-24-этажных зданий с 40х40 до 30х30 см, т.е. практически вдвое уменьшить на них массу и расход материалов.

В лабораториях ученые создали бетоны класса В 100 и даже В 150, но в промышленных условиях они оказались нестабильными и существенно менее прочными.

Следует обратить внимание на возникшие в последнее время перегибы в таких, казалось бы, хорошо изученных вопросах, как каркасы многоэтажных зданий. Если раньше в основном они устраивались в сборном железобетоне, то после определенной критики в отношении трудоемкости заделки стыков, их повсеместно стали возводить в монолитном железобетоне или из металлических прокатных элементов - двутавров.

Учитывая имеющийся опыт возведения многоэтажных каркасных зданий из монолитного железобетона, имеющуюся опалубку, подмости и другие приспособления, первые такие каркасы предоставили возводить иностранным фирмам (турецким). Однако, несмотря на обычно более дешевый, чем сборный, монолитный железобетон, строительство таких монолитных каркасов оказалось существенно более дорогим и длительным. Вот задача нашим специалистам в области оборудования и механизации строительства – разработать легкую многократно используемую опалубку, инвентарные локальные подмости и леса для устройства монолитных колонн и плит перекрытий, чтобы избавиться от услуг иностранных фирм.

Что же касается каркасов из стальных прокатных элементов, в возведении которых более других поднаторели белгородские строители, благо наличие в области металлургического комбината и крупнейшего завода металлоконструкций, то в большинстве они устраиваются

совершенно нерационально. Металл – это наше достояние, наша валюта, наши материалы на экспорт и расходовать их надо очень рационально. Общеизвестно, что в СССР они в первую очередь шли на оборону – танки, подводные лодки и т.п. Металл разрешалось применять только при каркасах большой грузоподъемности, т.е. для колонн с мостовыми кранами, грузоподъемностью 30 и более тонн, либо при разновысоких этажах, для каркасов зданий повышенной этажности или высотных. Сейчас же в Белгородской области строят 2-3-этажные здания общественного назначения с небольшими нагрузками на перекрытия и этажами равной высоты с металлическими каркасами.

Это просто неразумная трата денег! Ведь эти здания можно было бы возвести с железобетонным каркасом, сэкономить и материалы, и ассигнования. Так, колонна из прокатного двутавра №36 или №40 потребует расхода от 150 до 375 кг стали на этаж при стоимости только материала от 3600 до 9000 рублей. Такая же колонна из железобетона потребует расхода даже при максимальном армировании от 100 до 120 кг арматурной стали при стоимости от 2800 до 3000 руб.

К другим недостаткам многоэтажных зданий со стальным каркасом следует отнести устройство железобетонных монолитных перекрытий большой приведенной толщины (240 мм) по оцинкованному профилированному настилу и металлическим главным и второстепенным балкам. Экономя на устройстве опалубки и поддерживающих ее стоек, мы здесь на 65% увеличиваем расход бетона на 1 м² перекрытия и в 3 раза расход стали – 45 кг/м² против 15 кг/м² при устройстве перекрытия из сборных железобетонных плит. А если учесть, что такие перекрытия требуют устройства подвесных потолков, а, следовательно, увеличения, как минимум, на 10-15% высоты этажа, то перерасход материалов и стоимости здесь становится весьма большим.

Для обеспечения высокой экономической эффективности, достаточной пространственной жесткости и монолитности следует обратиться к наилучшему симбиозу монолитного и сборного возведения железобетонных каркасов – универсальному сборно-монолитному каркасу с плоскими сборно-монолитными безбалочными перекрытиями, широко применяемому на стройках Белоруссии. Здесь колонны высотой на 2 этажа - сборные, 85% площади перекрытий - из сборных многопустотных плит толщиной 220 мм и только швы между ними,

несущие и связевые ригели – из монолитного железобетона. Приведенная толщина бетона всего 140 мм, расход стали на перекрытиях – 12-16 кг/м² – все на уровне или даже лучше Европейских стандартов.

Скорость возведения таких каркасов в 2 раза выше, чем из монолитного железобетона. С такими каркасами в 2002-04 г.г. в Белгороде построили несколько многоэтажных жилых домов и, в частности, на углу ул. Попова-Литвинова – 18-этажное здание, а на ул. Октябрьской – 20-этажное.

При возведении таких сборно-монолитных каркасов нет необходимости устраивать сплошные подмости под плиты перекрытий, а необходимо только устанавливать на временных стойках узкие подмости под монолитные ригели. Вот и задача для наших специалистов в области оборудования и механизации строительства - разработать легкие многократно используемые инвентарные подмости и стойки.

В зданиях с такими каркасами нет необходимости устраивать наружные стены из многослойной кладки, недостатки которой хорошо известны специалистам. Наличие на перекрытиях монолитных консолей вылетом не более 45-50 см позволят устраивать такие наружные стены из ячеистобетонных изделий (камней или блоков) плотностью 500 кг/м³ с коэффициентом теплопроводности 0,12 толщиной всего 400 мм с внешней паропроницаемой штукатуркой, которые обеспечивают тепловую защиту помещений не только из санитарно-гигиенических, но из энергосберегающих условий. И не нужно здесь навесные и вентилируемые фасады, существенно увеличивающие стоимость м² площади.

Вообще, ячеистобетонные изделия должны стать основным стеновым материалом как для строительства многоэтажных, так и малоэтажных зданий. Надо только отойти от повального увлечения стройматериальщиками приоритетным снижением плотности ячеистого бетона – пенобетона и газосиликата. Надо четко разграничить какие ячеистые бетоны нужны для малоэтажного строительства домов несущих стеновых систем, а какие - для многоэтажных каркасных систем и перегородок для всех систем.

Для малоэтажных зданий, в том числе и жилых домов усадебного типа и коттеджей, приоритетным должно быть наличие прочности,

соответствующей классу конструктивно-теплоизоляционных изделий, при минимально возможных коэффициентах теплопроводности. Для многоэтажного каркасного строительства приоритетными должны являться теплоизоляционные требования – минимально возможное снижение коэффициента теплопроводности, а показатели прочности и плотности должны являться второстепенными.

Мы вообще являемся противниками устройства многослойных стен. Они многодельны, трудоемки, трудно контролируемы и мало ремонтпригодны. Когда только они зарождались, то устраивались из несущего слоя кирпича толщ. 380 мм, приклеиваемого слоя эффективного утеплителя толщиной 100 мм и облицовочного слоя кирпича толщиной 120- мм, соединенного гибкими связями с несущим слоем кирпича.

Такое решение было явно неудовлетворительным. Ненагруженный облицовочный слой совершенно не реагировал на деформации несущего слоя и не давал возможность получить информацию о состоянии последнего. После многочисленных жалоб новоселов на повреждение зданий губернатор Подмосковья уже в 2009 г. приказом запретил в Подмосковье проектировать и возводить такие многослойные стены.

Перешли к строительству зданий с многослойными наружными стенами с внутренней воздушной прослойкой и навесными плитами на металлическом каркасе, т.е. к устройству вентилируемых фасадов. И стоимость 1 м² жилплощади в связи с применением металлического каркаса и дорогостоящих керамогранитных плит возросла на 25%.

Вот почетная задача для наших ученых – разработать более тонкие и более дешевые облицовочные плиты для вентилируемых фасадов или улучшить старые тонкие армоцементные плиты на белом цементе или применяемые в Европе цементно-магниевоы плиты.

Еще есть много актуальных, но нерешенных задач для наших стройматериальщиков.

Еще во многом надо улучшить физико-механические свойства основного сейчас представителя легких бетонов - керамзитобетона плотностью 1150- 1650 кг/м³. Из него теперь устраиваются не только стеновые панели и плиты перекрытий, но и несущие стены, столбы, пилоны, колонны и ригели каркасов. Однако, сохранность стальной арматуры в нем менее надежна, чем в традиционном тяжелом бетоне.

Увеличивать пассивирующие свойства керамзитобетона за счет значительного увеличения количества цемента очень накладно и не экономично. Тут необходимо разработать добавки-ингибиторы коррозии, существенно повышающие долговечность арматуры. Еще более значительной является необходимость резкого снижения температурно-влажностной усадки керамзитобетона. В качестве примера ее негативного действия приведем внешний вид фасадов 10-этажных крупнопанельных жилых домов в XI микрорайоне г.Белгорода. Большая группа 10-этажных красивых современных зданий имеет наружные поверхности стеновых панелей с многочисленными протяженными хаотически расположенными трещинами, через которые проникает дождевая вода с соответствующими последствиями - порчей отделки, промерзанием и многочисленными жалобами жителей. После зачеканки и ремонта трещин поверхности панелей напоминают «зебру». И все потому, что в массовом порядке на всю страну эти трехслойные стеновые панели с внешними слоями из керамзитобетона дают значительную усадку. Обеспечить изготовление таких панелей на всю Россию безусадочным цементом невозможно, но возможно разработать такие добавки, которые бы резко снизили усадку керамзитобетона.

Большое значение для повышения надежности строительства района России с высокой сейсмической активностью (Алтай, Северный Кавказ, Забайкалье и др.) имеет значительное повышение прочности сцепления сложного и цементного растворов с камнем, керамическим и, особенно, силикатным кирпичом. Различными добавками в определенной мере удастся несколько повысить такую прочность. Но нужна единая комплексная добавка, позволяющая вдвое повысить прочность сцепления. Это благотворно скажется и на долговечности наружной штукатурки на силикатном кирпиче.

Значительной проблемой является повышение защиты тяжелого цементного бетона от биологического поражения. Особенно важно это для долговечности и надежности работы коллекторов хозяйственно-бытовой и промышленной канализации, зданий ряда очистных и сооружений канализационных станций. Мионовые бактерии в сероводородной среде в течение нескольких лет так повреждают поверхности и оборудование этих сооружений, что приводят к перебоям в их работе и длительному ремонту. Только повышением плотности

бетона и увеличением толщины защитного слоя у арматуры дела не решишь. Нужны противобиологические добавки в бетон.

Еще одной проблемой является недопущения появления высолов на поверхности каменной кладки и тротуарной плитки, которые резко портят их архитектурную выразительность и требуют многократного ремонта. Использование при изготовлении кирпича и плитки специальных добавок позволило бы, в конце концов, решить и эту проблему.

Нерешенной в течение многих лет является проблема обеспечения в массовом порядке строительства стекловолокном, не корродирующим в гидратирующем цементном растворе. Выпуск такого стекловолокна в промышленных объемах позволил бы получить легкие высококачественные изделия и для отделочных, и для конструкционных материалов, заменить стальные арматурные сетки стекловолокнистыми.

Из стеклоцементных плоских плит и панелей можно было бы выпускать все элементы подвесных потолков и полностью заменить дорогостоящие керамогранитные плиты для вентилируемых фасадов, готовить облицовочные панели вместо армоцементных, устраивать высокопрочные покрытия полов и др.

Это бы существенно создавало экономию в затратах на строительные материалы, конструкции и изделия.

Таким образом, первоочередная задача конструкторов и специалистов в области строительных материалов – неуклонное снижение стоимости строительных материалов в структуре себестоимости капитального строительства.

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОПОТОКАМИ

Евтушенко Н.Д.,

Кушев Л.А., д-р техн. наук, профессор,

Гаевой А.П., канд. техн. наук, доцент

Губкинский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова

В настоящее время, в период реформирования экономики Российской Федерации и перевод ее на инновационные рельсы на первый план выходит проблема организации и управления, причем управления не только (и не столько) механизмами, а сложными человеко-машинными системами. Это означает, что ответственные решения должны приниматься только после предварительных расчетов и анализа полученных данных. Не случайно, в настоящее время наблюдается бурный рост применения информационных технологий и математических методов. Разрабатываются автоматизированные системы управления (АСУ), предназначенные для управления технологическими процессами (АСУТП), предприятием (АСУП), отраслью (ОАСУ). Очевидно, что поиск оптимального решения методом проб и ошибок применительно к реальным объектам просто не приемлем, предпочтительнее делать это на моделях. Автоматизированные системы управления совместно с системами поддержки принятия решений выступают основным инструментом повышения обоснованности управленческих решений. Таким образом, формируется исследование операций – наука о предварительном обосновании решений во всех областях целенаправленной деятельности, широко использующая математический аппарат. Это комплексная математическая дисциплина, занимающаяся построением, анализом и применением математических моделей принятия оптимальных решений при проведении операций. Методы и модели исследования операций позволяют получить решения, наилучшим образом отвечающие целям организации.

Во всем мире экономико-математические методы и модели управления завоевывают сегодня доминирующее место в хозяйственной практике. Их использование создает надежную базу для компьютеризации процессов управления предприятием. В свою очередь, применение новейших информационных технологий, позволяющих обрабатывать информацию с наибольшей

эффективностью, приведет к успешному развитию современной экономики.

В непростой экономической ситуации многие предприятия и в России и за рубежом сталкиваются с проблемой неравномерности производства и, как следствие, со значительными колебаниями в предъявлении своей продукции к транспортировке. Перед организацией возникает дилемма: иметь собственный транспортный отдел или воспользоваться услугами транспортно-логистической компании. В свою очередь транспортные компании стоят перед альтернативой: либо иметь дополнительные провозные способности, рассчитанные на максимум перевозок, либо при недостатке необходимых резервов предусматривать неполное удовлетворение потребностей в перевозках в отдельные периоды. Оба решения несут определенные экономические издержки: в первом случае они связаны с необходимостью содержания неиспользуемых производственных мощностей, во втором – к потере конкурентоспособности и к неполучению дополнительных доходов.

Наряду с этим большое значение приобретает совершенствование оперативного планирования и прогнозирования работы транспорта с учетом неравномерности перевозок, с целью изыскания резервов для повышения качества транспортных услуг, что позволит отправлять все грузы, предъявленные к перевозкам, бесперебойно и своевременно доставлять их по назначению. Экономический эффект от правильного учета и точной оценки неравномерности перевозок грузов в современных условиях позволит эффективней использовать технические средства транспортной компании.

Процесс оптимизации перевозок опирается на решение комплекса взаимосвязанных задач, результаты каждой из которых является исходными данными для следующих. Необходимо решить следующие задачи:

1. Найти кратчайшие пути в транспортной сети. Для решения этой задачи используют алгоритмы Дейкстры или Флойда-Уоршола.
2. Закрепить пункты назначения за пунктами отправления.
3. Определить оптимальный состав транспортных средств, использующихся для перевозки.
4. Определить поток ресурсов минимальной стоимости. Это так называемая задача Басакера-Гоуэна. Она представляет собой общую схему алгоритма Форда-Фалкерсона, в которой в качестве очередного дополняющего берется минимальный по стоимости путь.

Все эти задачи являются актуальными для любого типа производства. На сегодняшний день время, затрачиваемое на

производство продукции примерно в сорок раз меньше времени, необходимого для ее транспортировки к месту назначения. На перемещение продукции с заводов-изготовителей на склады, между международными, национальными и региональными производственными площадками и отправку ее дистрибьюторам может приходиться более половины общих затрат компании на логистические услуги. Время и стоимость доставки продукции потребителям непосредственно влияет на экономические показатели эффективности работы предприятия и конечную стоимость продукции.

Очевидно, для решения логистической задачи – эффективного управления транспортными потоками целесообразно разработать автоматизированную систему управления транспортной компанией, отвечающим следующим требованиям:

1. кратчайшее расстояние;
2. минимальный расход топлива;
3. максимальная скорость доставки груза;
4. оптимальная загрузка транспортных средств.

Необходимо учитывать и специфику перевозимого груза.

Эффективным и перспективным представляется использование космических навигационных технологий ГЛОНАСС/GPS. Эта система предоставляет возможности не только мониторинга движения, но и управления транспортом, включая контроль маршрутов, обеспечение безопасности перевозок грузов, возможности корректировки планов работ, контроль работы персонала и многое другое. Интерес представляет не просто внедрение ГЛОНАСС/GPS-решений, а именно их интеграция с существующими логистическими и информационными системами.

Важность решения задачи оптимального управления движением грузопотоков трудно переоценить. Задача минимизации расходов на транспортировку и распространение продукции становится одной из основных задач каждого предприятия, так как успешное ее решение позволяет существенно снизить издержки на изготовление продукции и тем самым повысить рентабельность предприятия.

Список литературы:

1. *Бродецкий, Г.* Моделирование логистических систем. Оптимальные решения в условиях риска / Г. Бродецкий. – М.: Вершина, 2006. - 376 с.

2. *Волков, И.К.* Исследование операций: учебное пособие для вузов. 2-е изд. / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко / И.К. Волков, Е.А. Загоруйко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 436 с.
3. *Конюховский, П.* Математические методы исследования операций в экономике / П. Конюховский. - СПб.: Питер, 2000. - 208 с.
4. *Трусов, А.* Excel 2007 для менеджеров и экономистов: логистические, производственные расчеты / А. Трусов. - СПб.: Питер, 2009. - 256 с.
5. *Хачатрян, С.* Прикладные методы математического моделирования экономических систем / С. Хачатрян. – М.: Экзамен, 2002 - 192 с.

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Жук С.А., Копылов А.С.

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

В настоящее время к техническим средствам и системам, применяемым на предприятиях, предъявляются повышенные требования по энергоэффективности и экологичности. Однако множество исполнительных механизмов и устройств, работающих по дискретному принципу «включено»/«выключено», имеют очень ограниченные возможности по улучшению своих характеристик при применении традиционных способов управления. В то же время применение вышеназванных исполнительных механизмов и устройств обосновано экономически и технологически, т.е. они вполне справляются со своими функциями и по стоимости значительно ниже более оснащенных средствами управления механизмов аналогового типа.

В качестве примеров можно привести:

- газовые горелки использующие двухпозиционный способ управления горением: «малое горение» – «большое горение»;
- насосные станции;
- моноблочные теплогенераторы различного типа, которые позволяют во многих случаях значительно уменьшить капитальные затраты и эксплуатационные расходы;
- вентиляционные системы;
- прочие системы, где экономически выгодно и технологически целесообразно применение дискретных исполнительных устройств.

Современное развитие электронных средств и применение нечеткой логики позволяют значительно расширить возможности регулирования посредством дискретных исполнительных устройств и, тем самым, значительно улучшить эксплуатационные характеристики систем регулирования и управления.

Рассмотрим целесообразность применения предложенного в заголовке раздела способа управления на примере газовой горелки.

Наибольшее распространение в котельных получили двухступенчатые, плавно-двухступенчатые и модулируемые горелки:

– двухступенчатые горелки, как и следует из их названия, имеют две ступени мощности. Первая ступень обеспечивает 30–40 % мощности, а вторая – 100 %. Переход с первой ступени на вторую происходит в зависимости от контролируемого параметра котла (температуры прямой воды или давления пара), режимы включения/выключения зависят от автоматики котла;

– плавно-двухступенчатые горелки позволяют осуществлять плавный переход с одной ступени на вторую (сохраняя две ступени мощности);

– модулируемые горелки нагревают котел непрерывно, по мере необходимости повышая или снижая мощность. Диапазон изменения режима горения – от 10 до 100 % номинальной мощности. Экономия топлива при этом составляет 5%-10 %. Однако, модулируемые горелки значительно дороже ступенчатых моделей.

Целесообразность применения предложенного способа заключается в том, что, используя недорогие дискретные исполнительные устройства и нечеткую адаптивную логику управления:

– сохраняется ценовой диапазон 2-х ступенчатых горелок при регулировочных характеристиках присущих модулируемым горелкам и повышении надежности функционирования за счет добавления еще одного исполнительного устройства;

– предлагаемая схема по перерегулированию и по времени выхода параметра на необходимый уровень более чем в три раза превосходит типовые ПИ-системы регулирования модулируемых горелок, что дает существенную экономию топлива;

– при многоступенчатом изменении теплопроизводительности температура поверхностей нагрева меняется более равномерно, чем при двухступенчатом (диапазон изменения режима от 7 до 100 %, с шагом 7 %), приближаясь по этому параметру к модулируемым горелкам, что минимизирует механические напряжения в котле, уменьшает рост отложений на поверхностях нагрева со стороны воды, повышает КПД;

– нет необходимости в высококвалифицированном обслуживании (например привязка к датчику кислорода, чтобы получить максимальный эффект от модулируемой горелки), так как в многоступенчатой горелке настройка газ-воздух более жесткая, а в модулируемых она "плывет" каждый день пусть ненамного;

– оптимизируются регулировочные характеристики при применении газовых горелок в хлебопекарнях, кондитерских

производствах и пр., где важно стабильное поддержание температуры без значительных скачков.

В качестве модели изготовлена лабораторная установка максимально приближенная для ее использования с горелкой, применяемой в котлах отопления и прочих системах, где применяются газовые горелки (хлебопечи, кондитерские производства и пр.). В целях учебного процесса применено четыре клапана, тогда как в реальной горелке достаточно трех, т.е. к двум имеющимся добавляется еще один.

Установка обеспечивает:

- режим работы – автоматический;
- логика работы – нечеткая (адаптивная);
- программируемую и погодозависимую теплогенерацию с переменной температурой теплоносителя (согласно Положению об экономии энергии DIN 4701-10);
- регулирование тепловой мощности – шестнадцатиступенчатое с шагом около 7%;
- ЖК индикацию.



Рис. 1. Внешний вид учебной установки

Результаты проверки работы стенда подтвердили эффективность применения нечеткого адаптивного управления для управления работой горелки. Эти результаты играют важную роль в управлении подачей топлива, когда необходимо адаптироваться к сменам ситуаций, так как при работе горелки существует опасность ошибки в оценке работы, что может повлечь за собой серьезные последствия.

Поэтому предъявляются более жесткие требования в отношении понятности для оператора операций управления, простоты проектирования и технического обслуживания, а также надежности управления.

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Золотарев О.В., канд. техн. наук

Губкинский институт (филиал)

Московского государственного открытого университета

Планирование эксперимента по перемешиванию компонентов строительной смеси с применением математических методов делает работу исследователя более упорядоченной и целеустремленной, позволяя в целом повысить ее эффективность.

Учитывая большое количество исследуемых факторов эксперимента, нами выбирается в качестве основного плана эксперимента центральный композиционный ротатабельный план ЦКРП 2⁴ полного факторного эксперимента (ПФЭ).

Матрица планирования для ПФЭ ЦКРП 2⁴, на основании которой проводились экспериментальные исследования, представленные в соответствующих таблицах.

Таким образом, используя ПФЭ, можно меньшим количеством опытов получить с высокой точностью нелинейную модель смесителя строительных смесей.

Математическая модель, полученная по результатам обработки эксперимента, является уравнением регрессии в виде квадратичной функции:

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

где y – исследуемые параметры, определяемые в процессе эксперимента; b_0 – свободный член уравнения; b_i , b_{ij} , b_{ii} – коэффициенты, соответственно, при линейных параметрах, при эффектах взаимодействия и квадратичных членах; x_i , x_j – уровни варьирования факторов.

Исследования процесса изменения потенциальной энергии сыпучего материала, процесса движения центра масс сыпучего материала по наклонному лотку, производительности смесителя и времени перемешивания компонентов производились в непрерывном режиме смешивания, при этом изменялись: давление подводимого воздуха, изменяемое частотой вращения крыльчатки вентилятора; частота колебаний смесителя, изменяемая частотой вращения электродвигателя привода смесителя; амплитуда колебания смесителя, изменяемая положением тяги на приводном маховике; угол наклона

лотка смесителя, изменяемый высотой установки загрузочного конца смесителя.

Для определения влияния этих факторов на потенциальную энергию сыпучего материала, процесс движения центра масс сыпучего материала по наклонному лотку, производительность смесителя по сухой смеси и времени перемешивания использовалась лабораторная модель смесителя, работающая в непрерывном цикле перемешивания компонентов.

Исследуемыми факторами являются:

- давление воздуха, p , Па;
- частота колебаний, ω , Гц;
- амплитуда колебаний, a , мм;
- угол наклона, α , град.

Все принятые уровни факторов реализуются на модели смесителя строительных смесей с прозрачной стенкой, работающей в непрерывном режиме и соотносятся с реальными условиями работы смесителей строительных смесей (таблица).

Список литературы:

1. *Макаров, Ю. И.* Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. - М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
2. *Макаров, Ю. И.* Основные тенденции совершенствования отечественного оборудования для смешивания сыпучих материалов / Ю.И. Макаров, Г.Д. Сальникова // Химическое и нефтяное машиностроение. - 1993. - № 10. - С. 5-8.
3. *Селиванов, Ю. Т.* Моделирование процесса смешивания дисперсных материалов, отличающихся размером частиц / Ю.Т. Селиванов, В.Ф. Першин // ТОХТ. - 2001. - Т. 35. - №1. - С. 90-93.

ПРИМЕНЕНИЯ ИНЖЕКЦИИ В ТЕПЛОВОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ

Золотухин А.П., аспирант,

Кушев Л.А., д-р техн. наук, профессор,

Савкин Д.А., аспирант

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

Идея статьи — исследование изменения коэффициента трансформации тепловой энергии в тепловой насосной установке, посредством изменения сечения порта инъекции в конструкции компрессора. В статье рассмотрены понятия инъекция и инжектор, кратко описана их связь и конструктивные особенности с системами тепловых насосных установок. Развитие компрессоров с целью уменьшения энергозатрат на их работу дошло до использования свойства инъекции, а именно изменение пропускной способности рабочего тела через компрессорный контур в тепловой насосной установке, путем изменения давления и температуры при разделении потока портом инъекции. В наши дни данное свойство активно стало использоваться и разрабатываться фирмой Mitsubishi Electric [2]. Статья кратко описывает разработки Японской компании в данном направлении.

Применение инъекции в тепловой насосной установке (ТНУ).

В системах ТНУ и кондиционерах фирмы Mitsubishi Electric ZUBADAN применяется метод парожидкостной инъекции. В режиме обогрева давление жидкого хладагента, выходящего из конденсатора, роль которого выполняет теплообменник внутреннего блока, немного уменьшается с помощью расширительного вентиля. Парожидкостная смесь поступает в ресивер. Внутри ресивера проходит линия всасывания, и осуществляется обмен теплотой с газообразным хладагентом низкого давления. За счет этого температура смеси снова понижается и жидкость поступает на выход ресивера. Далее некоторое количество жидкого хладагента ответвляется через расширительный вентиль в цепь инъекции. Часть жидкости испаряется, а температура образующейся смеси понижается. За счет этого охлаждается основной поток жидкого хладагента, проходящий через теплообменник. После дросселирования с помощью расширительного вентиля смесь жидкого хладагента и образовавшегося в процессе понижения давления пара

поступает в испаритель, то есть теплообменник наружного блока. За счет низкой температуры испарения тепло передается от наружного воздуха к хладагенту, и жидкая фаза в смеси полностью испаряется. Проходя через трубу низкого давления в ресивере, перегрев газообразного хладагента увеличивается, и он поступает в компрессор. Кроме того, ресивер сглаживает колебания промежуточного давления при флуктуациях внешней тепловой нагрузки, а также гарантирует подачу на расширительный клапан цепи инъекции только жидкого хладагента, что стабилизирует работу этой цепи.

ZUBADAN

двухфазный впрыск хладагента в компрессор

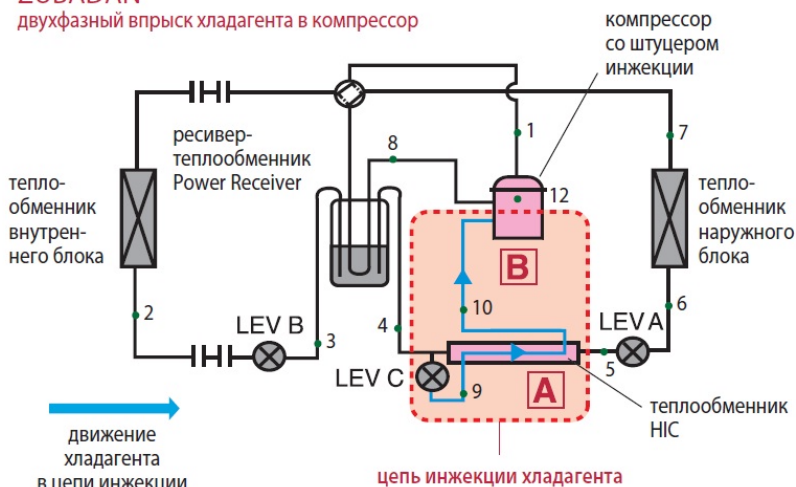


Рис. 1. Схема цепи двухфазного впрыска хладагента

Часть жидкого хладагента, ответвленная от основного потока в цепь инъекции, превращается в парожидкостную смесь среднего давления. При этом температура смеси понижается, и она подается через специальный штуцер инъекции в компрессор. В верхней неподвижной спирали компрессора предусмотрены отверстия для впрыска хладагента на промежуточном этапе сжатия.

Расширительный клапан задает величину переохлаждения хладагента в конденсаторе, определяет перегрев в испарителе, поддерживает температуру перегретого пара на выходе компрессора около 90°C. Это происходит за счет того, что, попадая через цепи инъекции в замкнутую область между спиралями компрессора, двухфазная смесь перемешивается с газообразным горячим

хладагентом, и жидкость из смеси полностью испаряется. Температура газа понижается. Регулируя состав парожидкостной смеси, можно контролировать температуру нагнетания компрессора. Это позволяет не только избежать перегрева компрессора, но и оптимизировать теплопроизводительность конденсатора.

Эффект от инъекции газообразного хладагента заключается в следующем. Поток хладагента через компрессор складывается из хладагента, поступающего через линию всасывания, и хладагента, проходящего через цепь инъекции. При низкой температуре наружного воздуха инъекция увеличивает общий расход. В результате, больше горячего пара поступает в конденсатор (теплообменник внутреннего блока), и его тепловая мощность увеличивается [2].

Кроме того, инъекция газа увеличивает эффективность всего холодильного контура. Дело в том, что обычно на вход испарителя после дросселирующего устройства поступает парожидкостная смесь. При этом входящий газ бесполезно проходит по испарителю, практически не внося вклад в холодопроизводительность. Далее он поступает в компрессор, который затрачивает энергию на его сжатие совместно с газом, образовавшимся в испарителе. При инъекции газа в компрессор, газообразный хладагент отбирается в цепь инъекции при промежуточном давлении. И компрессор затрачивает меньшую энергию на сжатие этого газа, потому что сжатие до давления конденсации происходит от уровня промежуточного давления, а не от давления испарения. Данный эффект проявляется как в режиме обогрева, так и в режиме охлаждения.

Взаимосвязь между расходом хладагента, проходящего через цепь инъекции, и тепловой мощностью конденсатора.

С одной стороны, с увеличением количества инжектируемого газа расход хладагента через конденсатор увеличивается, но при этом температура перегрева паров на входе в конденсатор уменьшается. Распределение температуры вдоль поверхности теплообменника при одинаковой температуре конденсации, но разной температуре входящего газа показывает, что существенные различия наблюдаются на участке, где хладагент находится в состоянии перегретого газа. Конечно, теплообмен на горизонтальном участке конденсации доминирует, но и участок перегретого газа нельзя сбрасывать со счетов, поскольку он вносит 20-30% в теплопроизводительность конденсатора.

Наличие двух соизмеримых и противоположно направленных факторов приводит к тому, что теплопроизводительность системы

достигает максимума при строго определенном расходе инжектируемого газа.

Таким образом, алгоритм управления цепью инъекции может быть оптимизирован с целью достижения максимальной теплопроизводительности, например, при пуске системы в холодном помещении. Но на некоторых этапах работы теплового насоса требуется не столько производительность, сколько экономичная работа. Например, после прогрева помещения максимальная мощность больше не требуется, и предпочтительнее энергоэффективная работа системы. Поэтому на данном этапе расход инжектируемого хладагента уменьшается, что влечет за собой повышение температуры на входе конденсатора и уменьшение его производительности. Но в этом случае ограничение расхода в цепи инъекции сокращает количество газа, которое сжимает компрессор. Потребляемая мощность уменьшается, а энергоэффективность увеличивается.

В зависимости от условий эксплуатации система автоматически выбирает параметр оптимизации, что обеспечивает комфортный обогрев помещения и сокращение эксплуатационных расходов.

Инъекция (а. injection; н. Injection, Einspritzung; ф. injection; и. inyección) — процесс непрерывного смешения двух потоков веществ и передачи энергии инжектирующего (рабочего) потока инжектируемому с целью его нагнетания в различные аппараты, резервуары и трубопроводы. Смешиваемые потоки могут находиться в газовой, паровой и жидкой фазах и быть равнофазными, разнофазными и изменяющейся фазности (например, пароводяные). Применяемые для инъекции струйные аппараты (насосы) называются инжекторами. Явление инъекции известно с 16 в. С начала 19в. процесс инъекции получил промышленное использование для усиления тяги в дымовых трубах паровозов.

Основы теории инъекции были заложены в работах немецкого учёного Г. Цейнера и английского учёного У. Дж. М. Ранкина в 70-е гг. 19 в. В СССР, начиная с 1918, значительный вклад в развитие теории и практики инъекции внесли А.Я. Милович, Н.И. Гальперин С.А. Христианович, Е.Я. Соколов, П.Н. Каменев и др. Смешение рабочего и инжектируемого потоков с разными скоростями сопровождается значительной потерей кинетической энергии на удар и превращением её в тепловую, выравниванием скоростей, повышением давления инжектируемого потока. Инъекция описывается законами сохранения энергии, массы и импульсов. При этом потеря энергии на удар пропорциональна квадрату разности скоростей потоков в начале

смешения. При необходимости быстрого и тщательного перемешивания двух однородных сред массовая скорость рабочего потока должна превышать массовую скорость инжектируемого в 2-3 раза. В некоторых случаях при инъекции наряду с гидродинамическим происходит и термический процесс с передачей рабочим потоком инжектируемому тепловой энергии, например при нагревании жидкостей паром с интенсивным перемешиванием сред — жидкости и конденсата.

Принцип инъекции заключается в том, что давление P_1 и средняя линейная скорость v_1 инжектирующего (рабочего) потока газа или жидкости, движущегося по трубе, в суженном сечении меняются. Скорость потока возрастает ($v_2 > v_1$), давление ($P_2 < P_1$) падает, т.е. рост кинетической энергии потока сопровождается уменьшением его потенциальной энергии. При падении давления P_2 ниже давления P_0 в суженную часть трубы засасывается инжектируемая среда, которая за счёт поверхностного трения увлекается рабочим потоком и смешивается с ним. При дальнейшем движении смеси по трубе с расширяющимся сечением уменьшение скорости потока до v_3 и его кинетической энергии сопровождается нарастанием потенциальной энергии и давления до величины P_3 , причём $P_2 < P_0 < P_3 < P_1$. Таким образом, в результате инъекционное давление инжектируемой среды возрастает от P_0 до P_3 за счёт падения давления рабочего потока от P_1 до P_3 , а давление смешанного потока приобретает промежуточное значение.

При инъекции с изменяющейся фазностью сред, например с конденсацией рабочего пара от соприкосновения с холодной инжектируемой жидкостью, можно создавать давление смешанного потока, превышающее давление рабочего потока. В этом случае работа, затрачиваемая на инъекцию, совершается не только энергией струи, но и внешним давлением при сокращении объёма конденсирующегося рабочего пара, а также за счёт превращения его тепловой энергии в потенциальную энергию смешанного потока. По сравнению с механическими способами смешивания, нагревания, сжатия и нагнетания различных сред инъекция отличается простотой, однако требует в 2-3 раза больших затрат энергии. О применении инъекции см. в статье Инжектор [1].

Инжектор (франц. *injecteur*, от лат. *injicio* — вбрасываю, впрыскиваю а. *injector*; н. *injektor*, *Strahlpumpe*; ф. *injecteur*; и. *inyector*) — струйный насос для нагнетания газов, паров и жидкостей в различные аппараты, резервуары и трубопроводы, а также сжатия газов и паров.

Принцип работы инжектора основан на преобразовании кинетической и тепловой энергии рабочего потока в потенциальную энергию смешанного (рабочего и инжектируемого) потока (см. Инжекция).

Достоинства инжектора — отсутствие движущихся частей, возможность повышения давления инжектируемого потока без непосредственной затраты механической энергии, простота конструкции и обслуживания, а также надёжность его работы [4].

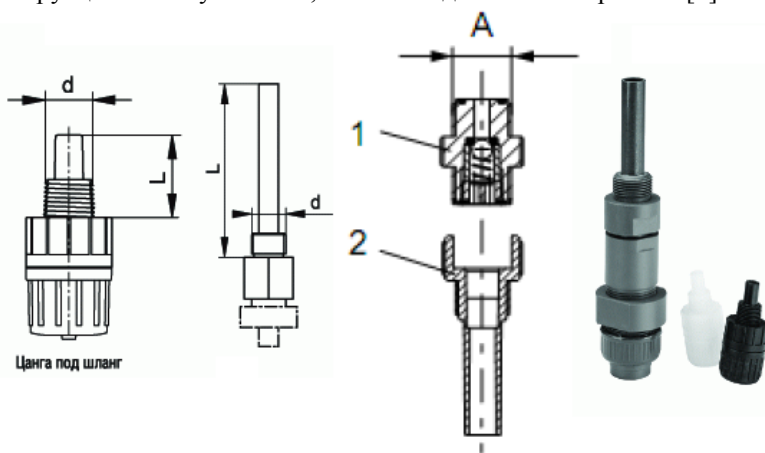


Рис. 1. Инжекционный клапан для дозирования хладагента в ТНУ
1. Обратный клапан. 2. Инжекционная трубка.

Совершенство инжектора определяется величиной коэффициента инжекции (соотношения массовых расходов инжектируемого и рабочего потоков) и КПД (отношения количества энергии, полученной инжектируемым потоком для увеличения его давления и скорости, к количеству энергии, затраченной рабочим потоком при его расширении до состояния смешанного потока). Коэффициент инжекции зависит от давления, температуры и скорости рабочего потока, физических свойств смешиваемых потоков. КПД инжекции, как правило, не превышает 30-35%, однако использование инжектора во многих отраслях промышленности позволяет получить более простые и надёжные технические решения по сравнению с использованием механических нагнетателей (насосов, газодувок, вентиляторов и др.). В горной промышленности инжектор применяют в качестве струйных насосов для пневмо- и гидротранспорта (гидроэлеваторы) различных сыпучих

материалов (см. Загрузочный аппарат), для подъёма и перекачки воды из колодцев и скважин, для создания непрерывного вентиляционной потока, для усиления тяги в дымоходах, для перекачивания парогазовых смесей химически агрессивных корродирующих веществ, в абсорбционных и экстракционных аппаратах для создания контакта различных фаз и др. [3].

Заключение.

Деление потока рабочего тела в компрессорном контуре ТНУ показывает, что выработка полезной энергии увеличивается по сравнению с применением компрессоров без инжектируемых портов. Данное улучшение позволяет сэкономить энергозатраты направленные на обеспечение ТНУ. Следовательно повышается использование таких систем в отоплении и теплоснабжении жилых и общественных зданий. Также появляется возможность все меньше использовать централизованное, дорогостоящее и ремонтное теплоснабжение для нужд жилых и общественных зданий.

Список литературы:

1. Энциклопедическим ресурс «Рубрикон» www.mining-enc.ru
2. Технической каталог-справочник продукции компании Mitsubishi Electric ZUBADAN.
3. Шпигун Л. К., Золотое Ю. А. Проточно-инжекционный анализ, М., 1990; Ruzjcka J., Hansen E. H., Flow injection analysis, 2 ed., N. Y.-[a. o.], 1988. Л. К. Шпигун.
4. Соколов Е. Я., Зингер Н. М., Струйные аппараты, 2 изд., М., 1970; Каменев П. Н., Гидроэлеваторы в строительстве, 2 изд., М., 1970.

СЛУ-ТЕХНОЛОГИЯ КАК ОСНОВНОЙ ИНСТРУМЕНТ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Игнатенко В.А.,

Магергут В.З., д-р техн. наук, профессор

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

На рынке средств автоматизации существует широкий спектр продуктов, предназначенных для организации систем автоматического управления технологическими объектами. Для решения задач автоматизации создаются типовые схемы, на основании которых могут быть реализованы системы автоматического управления.

В существующих программных решениях алгоритм управления задаётся, как правило, на одном из пяти языков программирования принятых международным стандартом МЭК 6-1131/3. С точки зрения написания управляющих структур, набор стандартных языков достаточно прост и функционален, однако не обладает необходимой наглядностью и формальностью записи законов управления. Как следствие – возникновение ошибок при проектировании, особенно при переходе от этапа моделирования и макетирования к этапу экспериментального внедрения. Это связано с необходимостью переноса алгоритма в иную обрабатывающую среду. Например, написание программы управления для контроллера по составленному технологическому описанию технологического процесса или перенос программ с одного типа промышленного контроллера на другой. Как видно, необходим такой математический аппарат, который был бы един на всех этапах решения технической задачи: описание автоматизируемого процесса, создание закона управления, моделирование системы автоматизации и макетные испытания, пробное внедрение, доводка и техническое обслуживание системы автоматизации. Унификация лингвистических средств позволит существенно сократить ошибки и неточности при переходе от одного этапа к другому и, как следствие, сократить время разработки и повысить надёжность системы в целом.

Помимо унификации инструментов проектирования существуют сложности при комплексном моделировании систем управления. Средства моделирования обычно представляют собой

специализированные программные комплексы, например, Multisim, направленные на описание отдельных процессов. Такие приложения создаются индивидуально для каждого типа производства, и на их разработку необходимо большое количество материальных и трудовых ресурсов. Другой путь описания и моделирования объекта управления – применение математических программных пакетов, например Matlab, использующих собственный язык и внутренние средства обработки информации. Проблемой в использовании таких приложений является сложность интеграции с инструментами разработки системы управления. Иными словами, возникает несовместимость между средствами моделирования системы управления и системой описания объекта управления. Эта проблема может решаться путём создания дополнительного инструментария обмена данными между моделью объекта и моделью системы управления. Однако, это лишь частное решение проблемы. Суть проблемы кроется в том, что для моделирования объекта необходимо проводить решение ряда дифференциальных уравнений, т.е. проводить обработку аналоговой информации, а при проектировании системы управления необходимо написать программу для промышленного контроллера, т.е. максимально чётко создать правила для обработки дискретной информации.

Следовательно, при автоматизации технологических объектов нужен новый подход, использующий новый математический аппарат описания, единый для системы управления и объекта автоматизации.

При создании алгоритмов логического управления техническими и технологическими объектами удобно использовать помеченную сеть Петри – графы операций [1]. Недостатком этого типа реализации управляющей структуры является сложность обработки аналоговой информации.

С целью получения нового, более гибкого инструмента обработки информации, в том числе аналоговой, и выдачи управляющих воздействий введём понятие информационной сети Петри.

Информационная сеть Петри (ИСП) – это сеть, в которой, как и в графе операций [1], переходам-чёрточкам сопоставлены условия, а позициям-кружкам соответствуют не технологические, вычислительные (математические) операции. Кроме того, позиции характеризуются промежуточными переменными, определяемыми массой фишки, а переходы дополнены двумя типами информационных входов (повышающий, обозначаемый кружком на конце перехода с символом «+») и понижающий, обозначаемый кружком на конце перехода с символом «-»). ИСП имеет входы и выходы, обозначаемые,

соответственно, «крестиком», помеченным именем In_i , и «стрелкой», помеченной именем Out_i , и дополнительно содержит информационные дуги. Начало информационной дуги обозначается «крестиком», а её конец – «стрелкой». Информационная дуга может помечаться коэффициентом усиления, изменяющимся в диапазоне $[0;1]$ и вписанным в треугольник, помещённый в разрыве дуги и направленный по направлению передачи информации по дуге. Отсутствие треугольника или пустой треугольник эквивалентны единичному коэффициенту усиления дуги. Дуги могут начинаться только из позиций или из входа сети и заканчиваться на информационных входах переходов, на треугольниках коэффициентов усиления или на выходах сети. Если одна информационная дуга заканчивается на треугольнике коэффициента усиления второй информационной дуги, то это изменяет коэффициент усиления второй дуги таким образом, что результирующий коэффициент усиления второй дуги равен произведению исходного коэффициента на численное значение, передаваемое первой информационной дугой. Наконец, метки в позициях сети имеют массу, которая изменяется по определенным правилам (см. ниже) в зависимости от коэффициентов усиления информационных дуг и порога срабатывания перехода, задаваемого информационными дугами. Кроме того, ИСП работает потактно (циклически), изменяя свои характеристики от такта к такту, а сам цикл заканчивается с выполнением вычислительной операции с заданной точностью или является бесконечным при реализации задач, требующих обработку бесконечного потока поступающей информации.

Пример графического изображения информационной сети Петри представлен на рис. 1.

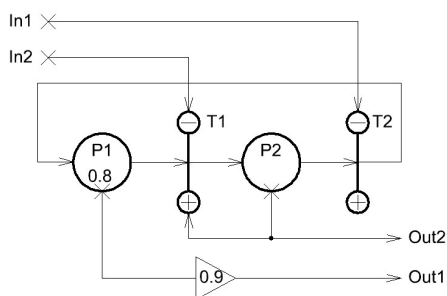


Рис. 1. Информационная сеть Петри

Информация поступает в систему как сигнал по информационным дугам, идущим к соответствующим переходам, а управляющее воздействие выдаётся системой в виде сигнала о массе фишки в позиции по исходящей из неё информационной дуге.

Поступающий в систему сигнал должен быть предварительно нормирован и лежать в диапазоне $[0;1]$. Это же относится и к выходу системы.

Разработку информационной сети Петри можно разделить на два этапа: структурный и параметрический.

На этапе структурного синтеза необходимо задать множества позиций и переходов и установить между ними связи в виде информационных и передающих дуг. На этом этапе алгоритм представляется в виде графа. Структура сети задаёт основные принципы функционирования описываемой системы.

Этап параметрического синтеза заключается в выборе коэффициентов ослабления информационных дуг, которые обеспечат корректную обработку поступающих сигналов о состоянии системы. По аналогии с классическими нейронными сетями этот этап будем называть «обучением» информационной сети Петри.

Благодаря возможности работы с аналоговыми величинами появляется возможность описать стандартные структуры, выполняющие типовые линейные и нелинейные математические операции. С помощью информационной сети реализованы такие элементарные операции как суммирование, умножение, деление, интегрирование, дифференцирование, нелинейности типа ограничение, люфт, зона нечувствительности. Имея типовые структуры можно в кратчайшие сроки описать систему, пользуясь математическими моделями объектов и элементов системы управления описанными с помощью классических инструментов теории управления. В то же время возможность адаптации и самонастройки, которую можно реализовать в информационных сетях, позволяет получать качественно новые решения.

Таким образом, для создания сложных интеллектуальных систем управления с помощью информационных сетей Петри нет необходимости решать задачу управления технологическим объектом с «нуля». За основу новой системы могут быть взяты разработанные ранее структуры управления и затем дополнены механизмами адаптации и самоорганизации.

Проведённое моделирование показало, что информационная сеть Петри позволяет моделировать динамические процессы, причём

существуют простые методы перехода от описания систем в виде передаточных функций к сетевому представлению алгоритма управления.

В отличие от структурной схемы, информационная сеть Петри является конечным продуктом процесса проектирования системы автоматизации и готова к исполнению на любых вычислительных платформах, снабжённых специализированным интерпретатором (в том числе и на промышленных контроллерах). При использовании классического подхода к проектированию систем автоматического управления структурную схему необходимо привести к конечным итерационным функциям и записать на одном из языков программирования. На этих этапах могут возникнуть ошибки функционирования, связанные с погрешностями дискретизации и написания дополнительного программного обеспечения.

Таким образом, информационная сеть Петри является сквозным лингвистическим средством, позволяющим напрямую перейти от алгоритма к опытной или промышленной системе управления, реализованной на вычислительной платформе.

Возможность интеграции модели объекта управления и модели системы автоматизации делает предлагаемый аппарат наглядным и удобным, что облегчает процесс проектирования и уменьшает вероятность ошибки.

Теоретические исследования велись по использованию математического аппарата информационных сетей Петри (ИСП) для моделирования динамических звеньев, а так же для проведения параллельных вычислений, что позволит существенно ускорить проверку вновь предлагаемых алгоритмов и их работу при внедрении на реальных объектах с применением контроллеров при наилучшем сочетании показателей цена-возможности. Сочетание описаний алгоритмов посредством ИСП и помеченных сетей Петри (графов операций) позволит охватить всю гамму описаний как объектов, так и систем управления, чего не позволяют существующие стандарты МЭК 61131-3.

Список литературы:

1. *Юдицкий, С. А.* Логическое управление дискретными процессами. Модели, анализ, синтез / С.А. Юдицкий, В.З. Магергут. - М.: Машиностроение, 1987. – 176с.

МЕРА ДВИЖЕНИЯ

Исаев И.К., канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Закон инерции, установленный Галилео Галилеем: материальная точка сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока действия других тел не изменят это состояние, характеризует стремление тела сохранить приобретенное им ранее движение – как по величине, так и по направлению, то есть способность двигаться по инерции; описывает характер движения свободной материальной точки в инерциальной системе отсчета.

Векторной мерой движения принят вектор точки (системы) $\overline{Q}=m\overline{V}$, именуемый в механике количеством движения. Он характеризуется модулем, равным произведению массы точки m на модуль скорости ее движения V и направлением, совпадающим с направлением вектора скорости. Скалярной мерой движения является кинетическая энергия.

Скорость изменения количества движения точки во времени пропорциональна приложенной к ней силе $\overline{P}=d(m\overline{V})/dt$ и выражает теорему об изменении количества движения материальной точки в дифференциальной форме: производная по времени от количества движения материальной точки геометрически равна равнодействующей сил, приложенных к этой точке (Яблонский А.А., Никифорова В.М., Курс теоретической механики. Учебник для техн. вузов. – 7-е изд. стереотипное. – Серия «Учебники для вузов. Специальная литература.» - СПб.: Издательство «Лань», 1999.-768с.).

При изложении теоремы уравнение

$$d(m\overline{V})=\overline{P}dt \quad (1)$$

интегрируют в пределах, соответствующих моментам времени t_1 и t_2 (Яблонский, с.457):

$$\int_{V_1}^{V_2} d(m\overline{V})=\int_{t_1}^{t_2} \overline{P}dt$$

Считая, что правая часть этого равенства представляет собой импульс \overline{S} силы \overline{P} за промежуток времени $t_2 - t_1$, то

$$m\overline{V}_2 - m\overline{V}_1 = \overline{S}, \text{ или } m\overline{V}_2 = m\overline{V}_1 + \overline{S},$$

Утверждают, что «вектор $m\overline{V}_2$ можно определить диагональю параллелограмма, построенного на векторах $m\overline{V}_1$ и \overline{S} ».

Заменяя «импульс \overline{S} равнодействующей силы \overline{P} в уравнении импульсами $\overline{S}_1, \overline{S}_2, \dots, \overline{S}_n$ составляющих сил $\overline{P}_1, \overline{P}_2, \dots, \overline{P}_n$:

$$m\overline{V}_2 - m\overline{V}_1 = \overline{S}_1 + \overline{S}_2 + \dots + \overline{S}_n$$

или

$$m\overline{V}_2 - m\overline{V}_1 = \Sigma \overline{S}_1.»$$

Считают, что это «уравнение выражает теорему об изменении количества движения материальной точки в конечной форме: изменение количества движения материальной точки за некоторый промежуток времени равно геометрической сумме импульсов сил, приложенных к точке за тот же промежуток времени. Эту теорему называют также теоремой импульсов».

«Векторному уравнению соответствуют три уравнения в проекциях на оси координат:

$$mV_{2x} - mV_{1x} = S_{1x} + S_{2x} + \dots + S_{nx}$$

$$mV_{2y} - mV_{1y} = S_{1y} + S_{2y} + \dots + S_{ny}$$

$$mV_{2z} - mV_{1z} = S_{1z} + S_{2z} + \dots + S_{nz}$$

или

$$mV_{2x} - mV_{1x} = \Sigma S_{ix},$$

$$mV_{2y} - mV_{1y} = \Sigma S_{iy},$$

$$mV_{2z} - mV_{1z} = \Sigma S_{iz}$$

Уравнения показывают, что изменение проекции количества движения материальной точки на данную ось за некоторый промежуток времени равно сумме проекций на ту же ось импульсов приложенных к точке сил за тот же промежуток времени».

Приведенная из учебников интегральная форма не соответствует действительности:

1. Силы не могут складываться одновременно и как скорости, и как ускорения.

2. Сила создает потенциал движения, но не само движение. Для того чтобы изменить движение, ее действие должно осуществляться во времени, в движении; ее действие зависит от угла между действием силы и направлением движения. Изменение $m\overline{V}$ не всегда ведет к изменению кинетической энергии T ; это происходит только при изменении \overline{V} по величине, а не по направлению.

Количество движения и импульс силы являются разными сущностями и в общем виде векторами складываться не могут. Пусть материальная точка имеет $m\overline{V}$. Перпендикулярно к скорости приложим $\overline{F}_n = \text{const}$, которая создаст нормальное ускорение $\overline{a}_n = \overline{F}_n / m = V_n^2 / R$.

Дуга окружности, которую пройдет точка за время t будет равна $\alpha R = Vt$. Тогда с учетом того, что $F_n = mV^2/R$, $t = \alpha R/V$ получаем

$$F_n t = \frac{\alpha R}{V} - \frac{mV^2}{R} = \alpha(mV)$$

$$\alpha = \frac{F_n t}{mV},$$

$$\text{или} \quad \omega = \frac{F_n}{mV}$$

где α - угол поворота вектора \overline{Q} за время t .

При этом модуль количества движения не изменится, но изменится направление движения точки (направление количества движения) на угол α . Скорость поворота (потенциал поворота) будет определяться соотношением силы и количества движения, а не только массы точки, и в явном виде не зависит от кинематических параметров движения, но для конкретных условий эти параметры можно определить. При повороте на угол π необходимо, чтобы $F_n t = \pi mV$, что противоречит данным, приведенным Яблонским (с.458).

Поскольку абсолютная производная скорости по времени равна сумме относительной производной этого вектора в подвижной системе координат и векторного произведения угловой скорости подвижной системы на вектор скорости (естественный способ задания движения материальной точки), то

$$d\bar{V}/dt = \tilde{d}\bar{V}/dt + \bar{\omega} \times \bar{V},$$

А основным уравнением, при условии постоянства массы, будет выражение (1) в виде

$$\bar{P} = m(\tilde{d}\bar{V}/dt + \bar{\omega} \times \bar{V}) \quad (2)$$

или, окончательно, разделив \bar{P} на составляющие: $\bar{P}_\tau = P \cos \beta$ - направленную по направлению скорости; $\bar{P}_n = P \sin \beta$, направленной перпендикулярно к вектору скорости (по главной нормали); где β - угол между вектором скорости и вектором силы.

Получаем окончательно

$$(\bar{P}_\tau + \bar{P}_n) = m\tilde{d}\bar{V}/dt + m(\bar{\omega} \times \bar{V}),$$

или разделив составляющие

$$\begin{cases} \bar{P}_\tau = m\tilde{d}\bar{V}/dt \\ \bar{P}_n = m(\bar{\omega} \times \bar{V}) \end{cases} \quad (3)$$

Дифференциальная форма первого векторного уравнения системы характеризует скорость изменение количества движения во времени в направлении движения, а сам закон тождественен второму закону Ньютона; второго - только скорость изменения вектора по направлению, а вместе - направление и величину количества движения.

$\bar{P}_\tau t$ из-за ее однонаправленности действия с направлением движения, с $m\bar{V}$ могут складываться векторно. $\bar{P}_n t$ изменяет только направление вектора $m\bar{V}$, оставляя $|m\bar{V}| = const$.

В любом случае сила, действующая на тело, должна быть пропорциональна создаваемому ей ускорению - это необходимое

условие изменения, как количества движения, так и направления движения: $\frac{P}{\tau} = ma$

- по модулю в направлении движения; $P_n = m\omega V = mV^2/R$ - по изменению направления движения. Действительно ли инерция требует такого соотношения между силой и ускорением (скоростью изменения скорости)? Для ответа на этот вопрос требуется ввести понятие инерционной силы или силы инерции $\overline{P}_i = -m\overline{a}$. Тогда складывая идентичные сущности $\overline{P}_i + \overline{P} = 0$, или $\overline{P}_i = -\overline{P}$, а тело сопротивляется изменению прямолинейного и равномерного движения с силой $\overline{P}_i = -m\overline{a}$, пропорциональной скорости изменения скорости движения и направлена в противоположную этому направлению изменения; при этом изменяется или направление движения тела, или количество движения, или совместно, но на одинаковую величину в любой инерциальной системе.

Пример применения уравнения инерции.

1. Изменение количества движения инерции.

Общий вид при условии $\frac{P}{\tau} = m\widetilde{dV}/dt$. Интегрируя, получаем $\overline{P}_\tau t = mV + c_V$; которое при $t=0$; $c_V = -mV_0$.

Итак $mV = mV_0 + P_\tau t$

2. Поворот вектора инерции.

Поскольку $\overline{P}_n = m(\omega \times \overline{V})$, получим $\omega V = P_n / m$, или $\omega = \frac{P_n}{mV}$.

Угол поворота определяем следующим образом, приняв $\omega dt = da$.

$$\int_0^a da = \int_0^t \frac{P_n}{mV} dt + c_a$$

или окончательно угол поворота направления инерции равен

$$a = \int_0^t \frac{P_n}{mV} dt + c_a$$

Если P_n и V постоянны, то $\Delta a = \frac{P_n \Delta t}{mV}$, что и имели ранее при рассмотрении движения точки по окружности.

$$3. \quad V = V_0 + at, \quad a = a_\tau; P_n = const$$

То имеем $a = \frac{P_n}{mV_0} \int \frac{dt}{at/V_0 + 1} + c$

Интегрируя, окончательно получаем при $a = a_\tau > 0$

$$\alpha = \frac{P_n}{ma} \ln \left| \frac{at}{V_0} + 1 \right| + \alpha_0$$

С учетом того, что

$$ma = ma_\tau = P_\tau; \quad \frac{P_n}{P_\tau} = tg\beta$$

где β - угол между направлением скорости и направлением силы, приложенной к материальной точке. Если $\beta > 0$, то поворот положителен, против часовой стрелки.

$$\alpha = tg\beta \ln \left| \frac{a_\tau t}{V_0} + 1 \right| + \alpha_0$$

$\overline{V_0}$ - имеет историю, несет в себе прошлое. Без наличия $\overline{V_0}$ закон инерции превращается в закон Ньютона.

Для определения взаимосвязь между $m\overline{V}$ и $mV^2/2$ изложим выражение (1) в виде

$$P = d(mV) / dt = mVdV / dS \quad \text{или} \quad PdS / dV = mV = dA / dV,$$

которое можно рассматривать как отношение приращения работы, затраченной на изменение движения, к приращению скорости движущегося тела и равное количеству движения (импульсу) материальной точки в данное время, формально не зависящее от времени воздействия. Чем больше количество движения точки (Q), тем больше требуется энергии для изменения скорости движения точки на единицу. С другой стороны $dT / dV = d(mV^2) / dV = mV$. Но энергия

является скалярной величиной и не зависит от направления движения, в отличие от $m\vec{V}$. Поэтому $PdS/dV = mV = Q = dT/dV$ можно рассматривать как скорость изменения кинетической энергии при изменении скорости движения точки на единицу, или как энергонасыщенность или энергоёмкость процесса изменения количества движения или передачи движения на движущееся тело, при изменении ее скорости на единицу. Мощность передачи можно определить как $N = mVdV/dt = Qa$, то есть она определяется количеством движения и ускорением точки.

Инерция имеет смысл только в движении и (как смотреть) две стороны: или количественно как меру наличия движения, или, как говорил Ф.Энгельс, «отрицательное выражение неуничтожимости движения».

Мерой инертности тела, свойства создавать силу сопротивления изменению движения во времени, определять скорость изменения скорости в прямолинейном движении является масса тела.

Мерой инерции, способности двигаться равномерно и прямолинейно, является интегральная величина $m\vec{V}$ - количество движения, от которой зависит как энергоёмкость процесса изменения движения по скорости на прямой линии, так и скорость изменения направления вектора $m\vec{V}$ во времени.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСТРАПОЛИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ ФОРСИРОВАНИЯ АДАПТАЦИИ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОД ТЕКУЩУЮ НАГРУЗКУ В УСЛОВИЯХ МИНИМУМА ИНФОРМАЦИИ

Камынин А.А.,
Кижук А.С., канд. техн. наук, профессор,
Магергут В.З., д-р техн. наук, профессор
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время доля дискретных систем управления, работающих, как по релейному закону управления, так и по ПИД закону, аналоговый сигнал которого преобразован в импульсный сигнал с помощью ШИМ, составляет более 60%. Такое широкое распространение позиционные устройства управления получили из-за большой номенклатуры исполнительных устройств (соленойдные клапаны, МЭО, ТЭН-ы). Амплитуда автоколебаний и величина перерегулирования регулируемой величины зависит, как от параметров объекта управления, так и от настроек регулятора. Улучшение качества регулирования достигается путем настройки параметров.

ПИД-регулятор целесообразно применять при наличии точного(не искаженного шумами и внешними воздействиями) аналогового сигнала, в таком случае настройка ПИД-регулятора сводится к вычислению коэффициента усиления и постоянной интегрирования(в случае использования

ПИ-закона управления), длительность этого процесса составляет 8-10 колебаний регулируемой величины. Основным достоинством ПИД-регулятора является точность.

Релейный регулятор использует информацию о текущем положении регулируемого параметра относительно линии задания (рис. 1). Настройка релейного регулятора представляет собой вычисление интервала действия управляющего воздействия в зависимости от

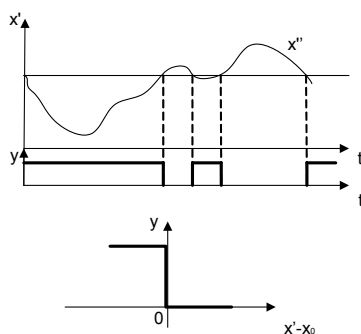


Рис.1. Автоколебательный процесс в системе с релейным регулятором

значения текущей нагрузки, т.е. адаптация сигнала управления к нагрузке.

Адаптивная система управления (рис.2) состоит из датчика 11 измеряющего регулируемую величину x , соединенного с обмоткой реле 2. Реле сравнивает преобразованный датчиком сигнал x' с сигналом задания x_0 , поступающим от задатчика 1(в некоторых случаях датчик, реле и задатчик представляют собой одно устройство 6). Сигнал y выхода реле 2 может находиться в одной из двух позиций обратной релейной характеристики(рис.1). Сигнал y находится в нижней позиции(реле разомкнуто), если регулируемая величина находится над линией задания, y находится в верхней позиции, если регулируемая величина – под линией задания. Это можно записать следующим образом:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{àñèè } x' \leq x_0, \\ 0, & \text{àñèè } x' > x_0. \end{cases}$$

Выходной сигнал релейного регулятора попадает на вход противодребезговой схемы 3, выход которой соединен со входом микроконтроллера 4. Выход микроконтроллера 4 соединен с выходным каскадом 5. Блок питания 8 обеспечивает энергией блоки программируемой приставки 7.

Выходной каскад 5 адаптивной приставки 7 соединяется со входом исполнительного устройства 9, воздействующего на объект управления 10.

В микроконтроллер 4 прошит алгоритм работы системы управления. Для этого структура микроконтроллера имеет таймер работающий, как в режиме измерения длительности, так и в режиме отсчета времени, внутреннюю память, для сохранения измеренных величин, а также записи программы алгоритма управления.

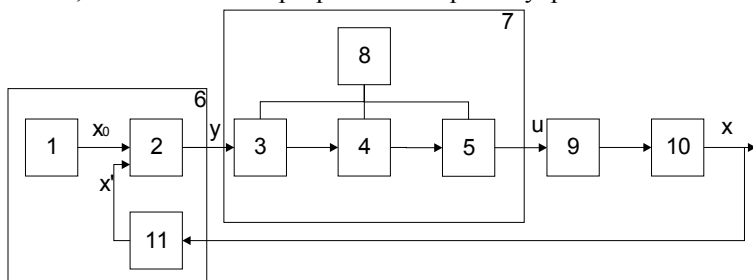


Рис.2. Адаптивная система двухпозиционного регулирования

Пример адаптации управляющего воздействия к нагрузке представлен на рис. 3. В конкретном случае адаптация представляет собой итерационный процесс с постоянным шагом Δ . Под адаптацией управляющего воздействия под нагрузку понимается нахождение такой величины управляющего воздействия $T_{y.в.0}$ при которой величина верхней полуволны $T_{верх.п.}$ стремилась к минимальному значению $I = T_{верх.п.} \rightarrow \min_{T_{y.в.}}$

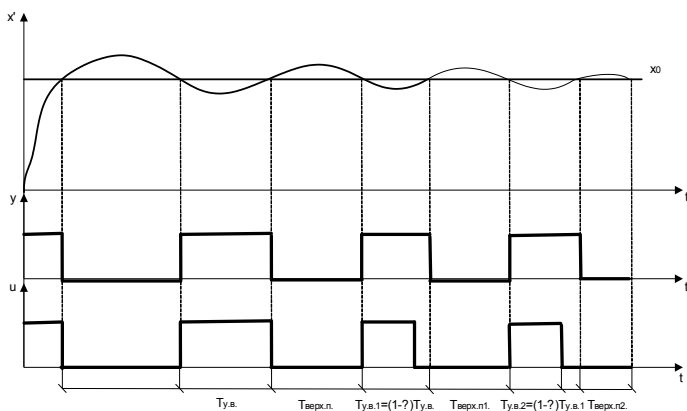


Рис.3. Пример процесса адаптации управляющего воздействия с постоянным шагом Δ

В сущности процесс адаптации можно представить в виде линейной задачи, решение которой будет соответствовать оптимальным настройкам релейного регулятора. Стоит также отметить, специфика решаемой задачи заключается в отсутствии информации об уровне регулируемой величины. При работе в таких условиях основными оперируемыми величинами являются длительность нижней, верхней полуволн автоколебаний регулируемой величины и длительность подачи управляющего воздействия. Исходя из этого можно сформулировать критерии управления

$I = T_{верх.п.} \rightarrow \min_{T_{y.в.}} / n \rightarrow \min, I = T_{ниж.п.} \rightarrow \min_{T_{y.в.}} / n \rightarrow \min$ т.е. необходимо найти такую длительность управляющего воздействия, при которой длительность верхней и нижней полуволны стремились к минимальному значению,

причем количество итераций адаптации должно быть минимальным. На практике сложно добиться выполнения обоих критериев, поэтому в большинстве случаев длительность управляющего воздействия адаптируют с целью уменьшения верхней полуволны.

Решение задачи сводится к вычислению такого $T_{y.v.0}$ при котором $T_{\text{верх.л.}} = f(T_{y.v.0}) = 0$. Решение задачи точными методами невозможно, т.к. нельзя заранее определить точную функциональную зависимость $T_{\text{верх.л.}} = f(T_{y.v.})$. В тоже время для нахождения аппроксимирующей функции $T_{\text{верх.л.}} = f(T_{y.v.})$ необходим большой объем эмпирической информации, получение которой приводит к затягиванию процесса адаптации.

С точки зрения теории численных методов задача является тривиальной. Применение этого математического аппарата к функциональной зависимости заранее неизвестного вида становится возможным, если в качестве аргумента функции использовать длительность управляющего воздействия, а в качестве значения - апостериорную информацию о длительности верхней полуволны. Такой подход позволяет применять такие методы, как метод Ньютона, метод половинного деления.

Однако на практике применение некоторых численных методов может привести к «проседанию» регулируемой величины относительно линии задания, и как результат нахождению неправильного решения. Данный недостаток можно алгоритмически исправить путем введения процедуры идентификации подобных ситуаций и возвращающей процесс адаптации к предыдущему шагу в целях избегания этой ситуации. Однако написание такой процедуры является трудоемким, по сравнению с самим методом адаптации. Таким образом, во избежание подобных ситуаций желательно проводить, так называемую, одностороннюю адаптацию.

Предлагаемый метод учитывает все вышеперечисленные замечания и заключается в построении экстраполирующей функции по точкам, полученным в ходе пошаговой односторонней адаптации с минимальным количеством шагов. Минимальное количество точек, по которому можно построить линейную функциональную зависимость, – две. Таким образом, имея две точки и зная вид экстраполирующей функции, можно теоретически решить задачу с точностью до ϵ .

Многие промышленные объекты управления можно описывать аperiодическим звеном первого порядка с запаздывающим аргументом.

Для таких объектов функциональная зависимость $T_{ниж.л.} = f(T_{y.с.})$ наиболее рационально (как показывают экспериментальные данные, полученные в лабораторных условиях при моделировании систем первого порядка, а также при промышленных испытаниях на ЗАО «Осколцемент») описывается логарифмической функцией.

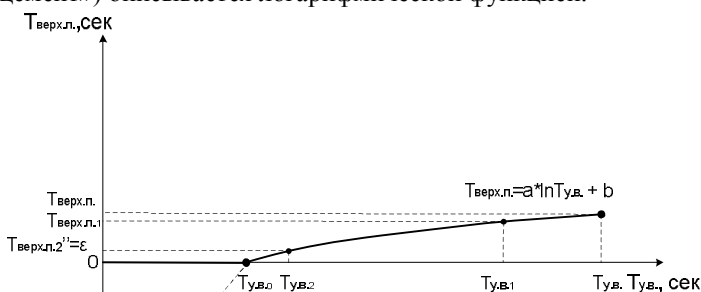


Рис.3. Вид экстраполирующей функции

На рис.3 представлен вид логарифмической экстраполирующей функции. Фактически вычисление сводится к решению системы уравнений и последующему вычислению значения $T_{y.с.0}$ по следующим формулам:

$$\begin{cases} T_{верх.л.} = a \cdot \ln(T_{y.с.}) + b; \\ T_{верх.л.1} = a \cdot \ln(T_{y.с.1}) + b; \end{cases} \quad (1.1); \quad \begin{cases} T_{верх.л.} = a \cdot T_{y.с.} + b; \\ T_{верх.л.1} = a \cdot T_{y.с.1} + b; \end{cases} \quad (2.1);$$

$$\begin{cases} a = \frac{T_{y.с.} - T_{y.с.1}}{\ln\left(\frac{T_{верх.л.}}{T_{верх.л.1}}\right)}; \\ b = T_{y.с.} - \frac{T_{y.с.} - T_{y.с.1}}{\ln\left(\frac{T_{верх.л.}}{T_{верх.л.1}}\right)} \cdot \ln(T_{y.с.}); \end{cases} \quad (1.2); \quad \begin{cases} a = \frac{T_{верх.л.} - T_{верх.л.1}}{T_{y.с.} - T_{y.с.1}}; \\ b = T_{y.с.} - \frac{T_{верх.л.} - T_{верх.л.1}}{T_{y.с.} - T_{y.с.1}} \cdot T_{y.с.}; \end{cases} \quad (2.2).$$

$$\varepsilon = a \cdot \ln(T_{y.с.2}) + b; \quad (1.3); \quad \varepsilon = a \cdot T_{y.с.} + b; \quad (2.3);$$

$$T_{y.с.2} = e^{\frac{\varepsilon - b}{a}}; \quad (1.4); \quad T_{y.с.2} = \frac{\varepsilon - b}{a}; \quad (2.4);$$

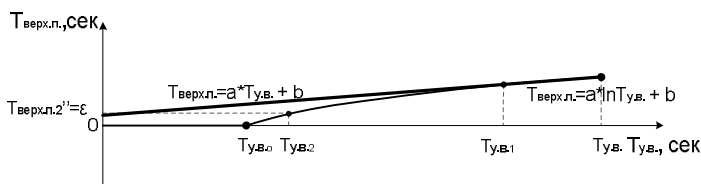


Рис. 4. Сравнение экстраполяции логарифмической функцией и прямой

На рис. 4 представлена экстраполяция с помощью логарифмической функции и прямой линией.

На практике не рекомендуется использовать значение $T_{y.ε.0}$:

1. Особенности, связанные с внешними условиями. Нагрузка объекта не является постоянной величиной, а изменяется в некоторых пределах в зависимости от внешних факторов, таких как время года, загрузка объекта управления. Попытки учесть эти факторы на практике приводят к изменению положения точки $T_{y.ε.0}$.

2. Особенности, связанные с погрешностью экстраполяции. Неточность экстраполяции объясняется малым количеством точек по которым производится экстраполяция.

На основе этих причин, в качестве адаптированной длительности $T_{y.ε.2}$ рекомендуется брать точку лежащую в правой ϵ окрестности от $T_{y.ε.0}$. После проведения всех вычислений, на исполнительное устройство подается управляющее воздействие длительностью $T_{y.ε.2}$, и измеряется $T_{верх.п.2}$. В случае если $T_{верх.п.2} > \epsilon$, производится подстройка $T_{y.ε.2}$ пошагово с заданной величиной шага или одним из численных методов, при этом решение ищется в интервале $[T_{y.ε.0}; T_{верх.п.2}]$.

Список литературы:

1. *Калиткин, Н. Н.* Численные методы / Н.Н. Калиткин // Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», М., 1978. – 512с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В КАЛОРИФЕРЕ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ УСТАНОВКИ

Камынин А.А.,

Кижук А.С., канд. техн. наук, профессор

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

Процессы теплообмена занимают ключевую роль в системах отопления, вентиляции и кондиционирования. При рассмотрении систем приточно-вытяжной вентиляции основными теплообменными процессами являются процесс рекуперации тепла в перекрестноточном пластинчатом теплообменнике и процесс нагрева воздуха после рекуперации в калорифере. Причем процесс нагрева воздуха является самым энергоемким процессом во всей вентиляции, поэтому качественное управление теплообменными процессами в калорифере является важной составляющей энергоэффективности системы приточно-вытяжной вентиляции.

Теплообмен между твердыми телами и газами или жидкостями, которые имеют различные температуры, может происходить тремя разными способами: излучением, теплопроводностью и конвекцией.

При излучении тепло передается от одного тела к другому с помощью электромагнитных волн, без прямого контакта между излучающим и поглощающим телами. При теплопроводности тепло распространяется внутри тела от частицы к частице, причем эти частицы остаются неподвижными. При конвекции перенос тепла осуществляется жидкой или газообразной средой к твердому телу или наоборот. Как правило, эти три механизма действуют одновременно.

В вентиляционных установках теплообмен осуществляется теплообменными аппаратами, состоящими из теплообменников и вентиляторов. В приточно-вытяжных установках применяются два вида калориферов: водяные и электрические.

Структурное описание калорифера, сводится к

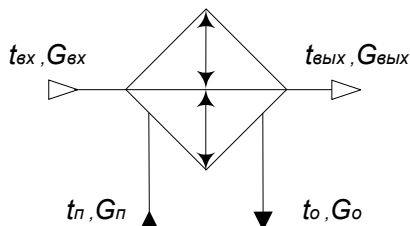


Рис.1. Структура калорифера

описанию процесса нагревания поверхности теплообменника теплоносителем с температурой подачи t_p и расходом G_p и описанию процесса нагревания входящего воздуха $t_{вх}$ воздуха, до температуры $t_{вых}$. В системе водяного калорифера происходят только теплообменные процессы и отсутствуют процессы массообмена между теплоносителем и воздухом, поэтому принимаются следующие условия $G_{п}=G_0$ и $G_{вх}=G_{вых}$.

Теоретические и экспериментальные исследования показали [1], что в первом приближении передаточная функция такого аппарата вне зависимости от канала описывается типовым аperiодическим звеном первого порядка с запаздыванием вида (1):

$$W(s) = \frac{K e^{-\tau s}}{Ts + 1}; \quad (1)$$

где K - статический коэффициент передачи аппарата;

T - постоянная времени теплообменного аппарата;

τ - время запаздывания.

Структурное описание калорифера сводится к трехконтурной системе, изображенной на рис. 2.

Управление калорифером сложный многоступенчатый процесс основной задачей, которого является поддержание постоянной температуры приточного воздуха путем регулирования температуры поверхности теплообменника.

Входящий теплоноситель проходит через трубки калорифера нагревает поверхность (ламели) теплообменника. Процесс нагревания описывается следующей передаточной функцией (2):

$$W_i(s) = \frac{K_i e^{-\tau_i s}}{T_i s + 1}; \quad (2)$$

Постоянная времени T_i для такого вида аппаратов определяется только расходами сред. Ниже приведена одна из нескольких возможных зависимостей, позволяющая оценить инерционность аппаратов такого вида (3):

$$T_i = \frac{\tilde{n}_i \dot{I}_i + \tilde{n}_0 \dot{I}_0}{\tilde{n}_m G_m + \left(\frac{2}{kF} + \frac{1}{\tilde{n}_m \dot{I}_m} \right)^{-1}}, \quad (3)$$

где c_m, c_T - теплоемкости металла и воды;

M_T, M_M - массы металла и воды;

$G_{п}$ - расход теплоносителя;

k - коэффициент теплопередачи аппарата;
 F - поверхность аппарата.

Статический коэффициент передачи в системе «теплоноситель-металл» K_{π} , в рамках этой задачи принимается равным единице, так как при рассмотрении процесса в отсутствии внешних возмущающих воздействий температура поверхности теплообменника стремится к температуре теплоносителя.

Введение запаздывания τ_{π} отражает транспортное запаздывание процесса переноса тепла от трубок, по которым протекает

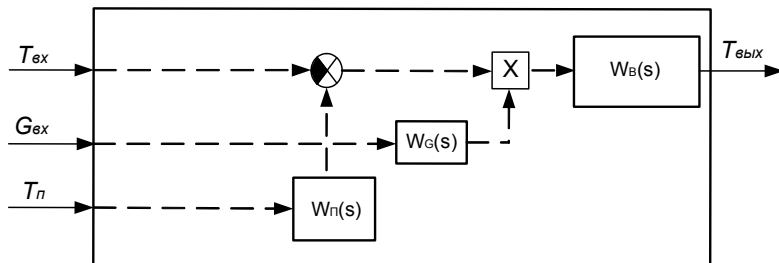


Рис.2. Структурная схема калорифера

теплоноситель, к поверхности теплообменника. Величина времени запаздывания имеет прямую зависимость от расстояния между трубками и ламелями калорифера.

Воздух, проходя через калорифер нагревается, путем конвективного переноса части теплоты с поверхности теплообменника воздуху, проходящему через этот теплообменник. Процесс нагревания воздуха в теплообменнике по каналу температуры описывается передаточной функцией следующего вида:

$$W_a(s) = \frac{K_a e^{-\tau_a s}}{T_a s + 1}; \quad (4)$$

Как и в случае математического описания процесса нагрева в системе «теплоноситель-металл» (3) постоянная времени T_b определяется только расходами сред.

Статическая характеристика аппарата, описываемая коэффициентом передачи K_b , может быть также получена расчетным путем, хотя эта зависимость еще более сложная, чем для постоянной времени. Поэтому для оценки пользуются статическими характеристиками, приведенными в технической или справочной документации. Необходимо учитывать ограничения, связанные с тем,

что при температуре наружного воздуха ниже нуля и определенных скоростях потока создается угроза замораживания аппарата.

При рассмотрении процесса переноса тепла в системе «металл-воздух» пренебрегают транспортным запаздыванием, так как величина времени запаздывания меньше, чем время нахождения воздуха в калорифере.

Основным назначением системы приточно-вытяжной вентиляции является обеспечение притока определенного количества свежего воздуха, таким образом в рамках рассматриваемой задачи расход воздуха является внешним возмущающим воздействием. В частном случае объем приточного воздуха является постоянной величиной, что позволяет описать зависимость температуры выходного воздуха от расхода, следующей передаточной функцией (5):

$$W_a(s) = \frac{K_G}{T_G s + 1}; \quad (5)$$

Постоянная времени T_G для данного канала прямо пропорциональна массе воздуха находящемуся в калорифере и обратно пропорциональна массовому расходу воздуха [2]:

$$T_G = \frac{m_a}{G_a \rho_a}; \quad (6)$$

где m_a – масса воздуха в калорифере;

G_a - расход воздуха через теплообменник;

ρ_a – плотность воздуха.

Статическая характеристика K_G обратно пропорциональна массовому расходу воздуха, что отражает физические процессы происходящие в калорифере – при увеличении расхода воздуха скорость движения воздуха, при постоянном сечении воздуховодов, возрастает, в результате чего время прохождения воздуха через теплообменник уменьшается, следовательно уменьшается время протекания процесса переноса тепла в системе «воздух-металл», поэтому температура выходящего воздуха будет ниже в сравнении с системами с меньшим расходом воздуха:

$$K_G = \frac{t_{a0}}{G_a \rho_a}; \quad (7)$$

Структурная схема calorифера приточно-вытяжной установки с учетом передаточных функций по каналам приведена на рис.3.

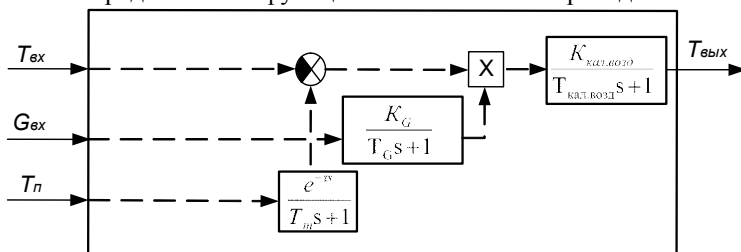


Рис. 3. Структурная схема calorифера с передаточными функциями каналов

Данная математическая модель позволяет сделать следующие рекомендации к проектированию системы автоматического управления:

1. При проектировании системы автоматического управления контролируемыми параметрами должны являться температура обратной магистрали теплообменника, температура выходящего воздуха и расход воздуха, регулируемые параметрами должны являться расход и температура подачи теплоносителя в теплообменник.

2. Рекомендуется использование аналогового регулятора с возможностью регулирования температуры выходного воздуха по каналам расхода и температуры теплоносителя в зависимости от температур обратной магистрали теплоносителя и температуре выходного воздуха, с коррекцией параметров системы регулирования на величину обратную величине расхода воздуха.

3. В системах с переменным расходом требуется введение компенсатора, который отслеживая изменение расхода, корректирует уставку температуры подачи теплоносителя в теплообменник.

Список литературы:

1. Бондарь, Е. С. Автоматизация систем вентиляция и кондиционирования воздуха: учебное пособие / Е.С. Бондарь, А.С. Гордненко. – К.: ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим», 2005. – 560 с.
2. Магергут, В. З. Регулирование основных технологических величин: лабораторный практикум: учеб. пособие / В.З. Магергут, А.Г. Бажанов, А.С.Копылов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – 230 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ДРОБНОГО ПОРЯДКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ КОЛОСНИКОВОГО ХОЛОДИЛЬНИКА

**Кариков Е.Б.,
Рубанов В.Г., д-р техн. наук, профессор**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Одним из основных процессов при производстве цемента является обжиг клинкера. Являясь самым энергоемким процессом, обжиг клинкера напрямую влияет на качество выпускаемой продукции и определяет экономическую эффективность всего производства.

Интенсификация и оптимизация процессов обжига клинкера приобретает большое значение при производстве цемента.

Процесс охлаждения клинкера является неотъемлемой частью процесса обжига клинкера. Повышение интенсивности процесса охлаждения позволяет достаточно быстро охладить клинкер, выходящий из вращающейся печи, что способствует фиксации жидкой фазы в стекловидном состоянии, препятствует росту кристаллов клинкерных минералов, замедляет разложение алита, что улучшает размол и активность клинкера.

В России, для охлаждения клинкера, в основном используются колосниковые переталкивающие клинкерные холодильники, так как они позволяют управлять процессом охлаждения или автоматизировать этот процесс.

Таким образом, встает вопрос о создании системы автоматического управления процессом охлаждения клинкера.

Создание системы автоматического управления колосниковым холодильником, подразумевает также и разработку математической модели процессов теплообмена, позволяющей в достаточном объеме отразить динамику и распределенный характер процессов, протекающих внутри рабочего пространства холодильника.

Повысить качество конечного продукта и снизить затраты энергии позволяет использование системы управления, построенной на основе математического описания, отражающего физическую сущность внутренних процессов, описываемых дифференциальными уравнениями с распределенными параметрами. Аппроксимация таких уравнений передаточными функциями целого порядка не позволяет создать модель, адекватно описывающую динамику внутренних процессов.

Аппроксимация математической модели объекта управления дробно-иррациональными передаточными функциями наиболее полно отражает распределенный характер внутренних процессов, протекающих в объекте управления, что позволяет достичь более высокой точности управления процессом.

Капиллярная модель фильтрации воздуха через слой клинкера является более предпочтительной по сравнению с моделью на основе обтекания системы шаров, т.к. она более удобна для решения задач теплоотдачи.

Установившееся ламинарное движение газа при фильтрации в поровых каналах описывается линейной системой уравнений Навье – Стокса (с пренебрежением квадратичными членами) [1]:

$$\begin{cases} \Delta \bar{V} = -\frac{1}{\mu} \cdot \text{grad } p, \\ \text{div} \bar{V} = 0, \end{cases}, (1)$$

где $\bar{V} = (u, v, w)$ – вектор скорости движения газа;
 μ – динамический коэффициент вязкости газа;
 p – давление.

В случае движения жидкости в цилиндрической круглой трубе вдоль оси z задача о ламинарном движении газа сводится к следующей краевой задаче для уравнения Пуассона в полярных координатах (r, φ) :

$$\begin{cases} \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left(r \cdot \frac{dw}{dr} \right) = -\frac{\Delta p}{\mu \cdot L}, \\ w|_{r=R} = 0, \end{cases}, (2)$$

где \bar{r} – радиус-вектор элементарного объема газа в сечении;
 R – радиус трубы;
 L – длина трубы;

Δp – падение давления на длине трубы.

Решение этой задачи имеет вид параболы Пуайзеля:

$$w(r) = \frac{R^2 \cdot \Delta p}{4 \cdot \mu \cdot L} \cdot \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right), (3)$$

Средняя скорость газа при движении по трубе или капилляру диаметра d и длины L равна:

$$v_0 = \frac{d^2 \cdot \Delta p}{32 \cdot \mu \cdot h}, \quad (4)$$

Описание теплоотдачи от клинкера к воздуху в поровом канале получается из баланса: тепло, отдаваемое стенкой элемента порового канала за время Δt , идет на повышение температуры элементарного объема воздуха на величину ΔT . Уравнение баланса имеет вид [2]:

$$\alpha \cdot S_B \cdot (T_{КЛ} - T_B) \cdot \Delta t = C_P \cdot \rho \cdot S_{II} \cdot \Delta h \cdot \Delta T, \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи;

$S_B = \pi \cdot d \cdot \Delta h$ – боковая поверхность элемента порового канала толщины Δh ;

$T_{КЛ}$ – температура стенки порового канала (температура клинкера);

$T_B = T_B(t)$ – температура воздуха в поровом канале;

C_P – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении;

ρ – плотность воздуха;

$S_{II} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ – площадь поперечного сечения порового канала.

Коэффициент теплоотдачи α связан с числом Нуссельта (Nu) соотношением:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}, \quad (6)$$

где λ – коэффициент теплопроводности воздуха.

Число Нуссельта при ламинарном течении в трубе в случае стабилизированного теплообмена при постоянной температуре стенки равно 3,66.

Уравнение баланса (5) можно представить в виде дифференциального уравнения:

$$\frac{d(T_{КЛ} - T_B)}{T_{КЛ} - T_B} = - \frac{4 \cdot \alpha}{C_P \cdot \rho \cdot d} dt, \quad (7)$$

где $T_B = T_B(t)$ – искомая температура воздуха.

В этом уравнении параметры воздуха ρ и λ зависят от температуры. При постоянных значениях параметров ρ и λ решение уравнения (7) можно представить в виде:

$$T_B(t) = T_{KЛ} - (T_{KЛ} - T_{BВХ}) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot \alpha}{C_p \cdot \rho \cdot d} \cdot t\right), \quad (8)$$

где $T_{BВХ}$ – температура воздуха на входе в поровый канал.

В решении (8) моменту входа элементарного объема воздуха в канал соответствует момент $t=0$, моменту выхода элементарного объема воздуха из порового канала соответствует момент $t=t_K=h/v_0$; температура воздуха $T_B(t_K) = T_{BВЫХ}$ – температура воздуха на выходе из порового канала.

$$T_B(h) = T_{KЛ} - (T_{KЛ} - T_{BВХ}) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot \alpha}{C_p \cdot \rho \cdot d \cdot v_0} \cdot h\right), \quad (9)$$

Тогда поток тепла, отдаваемого капилляром во всей толщине слоя будет равен:

$$Q_{кл} = \int_0^{h_{кл}} \alpha \cdot \pi \cdot d \cdot (T_{KЛ} - T_B(h)) dh, \quad (10)$$

Решая интеграл (10), получаем:

$$Q_{кл}(T_{кл}, h) = -\frac{4 \cdot \alpha^2 \cdot \pi \cdot d}{C_p \cdot \rho \cdot d \cdot v_0} \cdot \left(e^{-\frac{4 \cdot \alpha \cdot h}{C_p \cdot \rho \cdot d \cdot v_0}} - 1 \right) \cdot (T_{кл} - T_{BВХ}), \quad (11)$$

Для слоя клинкера постоянной толщины выражение можно представить как:

$$Q_{кл}(T_{кл}) = Q_{кл0} \cdot (T_{кл} - T_{BВХ}), \quad (12)$$

$$Q_{кл0} = -\frac{4 \cdot \alpha^2 \cdot \pi \cdot d}{C_p \cdot \rho \cdot d \cdot v_0} \cdot \left(e^{-\frac{4 \cdot \alpha \cdot h_{кл}}{C_p \cdot \rho \cdot d \cdot v_0}} - 1 \right)$$

где

Уравнение теплопроводности для слоя клинкера постоянной толщины будет выглядеть следующим образом [1]:

$$C_{кл} \cdot \rho_{кл} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \left(\frac{\partial T_{кл}(x, t)}{\partial \tau} + \omega_x \cdot \frac{\partial T_{кл}(x, t)}{\partial x} \right) - \lambda_{кл} \cdot \frac{\partial^2 T_{кл}(x, t)}{\partial x^2} = Q_{кл0} \cdot (T_{кл}(x, t) - T_{BВХ}), \quad (1)$$

где $\lambda_{кл}$ – коэффициент теплопроводности клинкера;

ω_x – скорость перемещения клинкера вдоль решетки;

ε – пористость слоя клинкера;

$C_{кл}$ – теплоемкость клинкера;

$\rho_{кл}$ – плотность клинкера;

$T_{в.вх}$ – температура воздуха на входе в слой клинкера;

Преобразуя уравнение (1) по Лапласу, имеем:

$$\lambda_{кл} \frac{\partial^2 T_{кл}(x,s)}{\partial x^2} - C_{кл} \rho_{кл} \cdot (1-\varepsilon) \cdot \omega_x \cdot \frac{\partial T_{кл}(x,s)}{\partial x} - (C_{кл} \rho_{кл} \cdot (1-\varepsilon) \cdot s + Q_{кл0}) \cdot T_{кл}(x,s) = Q_{кл0} \cdot T_{в.вх}, \quad (2)$$

Решение данного уравнения состоит из общего решения однородного уравнения вида[2]:

$$\lambda_{кл} \frac{\partial^2 T_{кл}(x,s)}{\partial x^2} - C_{кл} \rho_{кл} \cdot (1-\varepsilon) \cdot \omega_x \cdot \frac{\partial T_{кл}(x,s)}{\partial x} + (C_{кл} \rho_{кл} \cdot (1-\varepsilon) \cdot s + Q_{кл0}) \cdot T_{кл}(x,s) = 0, \quad (3)$$

и частного решения уравнения (2), которое в данном случае является константой относительно x :

$$T_{кл}(x,s) = C_1 \cdot e^{\lambda_1 \cdot x} + C_2 \cdot e^{\lambda_2 \cdot x} - \frac{Q_{кл0} \cdot T_{в.вх}}{C_{кл} \rho_{кл} \cdot (1-\varepsilon) \cdot s - Q_{кл0}}, \quad (4)$$

где $\lambda_{1,2}$ – корни характеристического уравнения вида:

$$\lambda_{кл} \lambda^2 - C_{кл} \rho_{кл} \cdot (1-\varepsilon) \cdot \omega_x \cdot \lambda + (C_{кл} \rho_{кл} \cdot (1-\varepsilon) \cdot s + Q_{кл0}) = 0, \quad (5)$$

$C_{1,2}$ - постоянные интегрирования, которые могут быть найдены исходя из краевых условий уравнения (2)

Корни характеристического уравнения (5):

$$\lambda_{1,2}(s) = \frac{C_{кл} \rho_{кл} \cdot (1-\varepsilon) \cdot \omega_x}{2 \cdot \lambda_{кл}} \pm \frac{\sqrt{4 \cdot \lambda_{кл} \cdot C_{кл} \rho_{кл} \cdot (1-\varepsilon) \cdot s + (C_{кл} \rho_{кл} \cdot (1-\varepsilon))^2 + 4 \cdot \lambda_{кл} \cdot Q_{кл0}}}{2 \cdot \lambda_{кл}}, \quad (6)$$

Краевые условия задаются исходя из постоянства температуры клинкера на входе в холодильник:

$$\begin{cases} T_{кл}(0,s) = T_{кл.вх} \\ \frac{\partial T_{кл}}{\partial x}(0,s) = 0 \end{cases}, \quad (7)$$

Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} C_1 + C_2 - \frac{Q_{кл0} \cdot T_{в.вх}}{C_{кл} \rho_{кл} \cdot (1-\varepsilon) \cdot s - Q_{кл0}} = T_{кл.вх} \\ \lambda_1 \cdot C_1 + \lambda_2 \cdot C_2 = 0 \end{cases}, \quad (8)$$

Решая систему (8) получаем:

$$C_1 = \lambda_2 \cdot \frac{Q_{\text{кл}0} \cdot (T_{\text{кл.вх}} + T_{\text{в.вх}}) + T_{\text{кл.вх}} \cdot C_{\text{кл}} \rho_{\text{кл}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot s}{(\lambda_2 - \lambda_1)(C_{\text{кл}} \rho_{\text{кл}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot s + Q_{\text{кл}0})}$$

$$C_2 = -\lambda_1 \cdot \frac{Q_{\text{кл}0} \cdot (T_{\text{кл.вх}} + T_{\text{в.вх}}) + T_{\text{кл.вх}} \cdot C_{\text{кл}} \rho_{\text{кл}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot s}{(\lambda_2 - \lambda_1)(C_{\text{кл}} \rho_{\text{кл}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot s + Q_{\text{кл}0})}, \quad (9)$$

Подставляя в (4) получим:

$$T_{\text{кл}}(x, s) = \frac{(\lambda_2(s) \cdot e^{\lambda_1(s) \cdot x} - \lambda_1(s) \cdot e^{\lambda_2(s) \cdot x}) \cdot (Q_{\text{кл}0} \cdot (T_{\text{кл.вх}} + T_{\text{в.вх}}) - T_{\text{кл.вх}} \cdot C_{\text{кл}} \rho_{\text{кл}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot s)}{(\lambda_2(s) - \lambda_1(s)) \cdot (Q_{\text{кл}0} + C_{\text{кл}} \rho_{\text{кл}} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot s)}, \quad (10)$$

В данном случае входным воздействием на систему будет являться расход воздуха через вентилятор общего дутья камеры холодильника, который определяет потерю давления на слое соотношением:

$$\Delta p(Q_{\text{ВН}}) = \lambda \cdot Q_{\text{ВН}}, \quad (11)$$

где λ – коэффициент сопротивления слоя клинкера на решетке в камере холодильника;

$Q_{\text{ВН}}$ – объемный расход воздуха, приведенный к нормальным условиям;

В таком случае передаточная функция клинкерного слоя как объекта управления будет выглядеть следующим образом:

$$W(x, s) = \frac{T_{\text{кл}}(x, s)}{Q_{\text{ВН}}(s)}, \quad (12)$$

Так как выражение (10) при заданной координате x представляет собой трансцендентную функцию относительно s , содержащую переменную s под знаком корня (т.к. содержит корни характеристического уравнения (6)), то аппроксимация выражения (12) передаточной функцией дробного порядка позволит наиболее полно отразить физическую сущность внутренних динамических процессов.

Список литературы:

1. Федоренко, А. Б. Математическая модель теплообменных и аэродинамических процессов в колосниковом холодильнике / А.Б. Федоренко, В.Г. Рубанов // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии: Материалы Междунар. конгресса. – Ч. III. – Белгород: Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2003. – № 6. – С. 225–232.
2. Федоренко, А. Б. Модель теплообмена в колосниковом холодильнике / А.Б. Федоренко // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии: Материалы Междунар.

науч.-практич. конф. – Белгород: Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2005. – № 11. – С. 109–112.

3. *Аэров, М. Э.* Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем / М.Э. Аэров, О.М. Тодес. – Л.: Химия, 1968. – 511 с.
4. *Мишунин, В. В.* Системы автоматического управления и контроля с дробно-иррациональными передаточными функциями: Монография / В.В. Мишунин, В.Г. Рубанов. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004. – 255 с.

МЕХАНОАКТИВАЦИЯ АНИЗОТРОПНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ БЕЗОБЖИГОВЫХ ВЯЖУЩИХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕЗИНТЕГРАТОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Качаев А.Е., аспирант,
Орехова Т.Н., аспирант,
Уральский А.В., канд. техн. наук, ст. преподаватель,
Севостьянов В.С., д-р техн. наук, профессор**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

На современном этапе развития научно-технического предпринимательства большая роль отводится созданию энерго-ресурсо-сберегающих технологий и технических средств для их реализации. При этом малым предприятиям предоставляется возможность работать в области комплексной переработки и утилизации техногенного сырья: золо-шлаковых отходов, металлургического производства, стекольного и керамического боя некондиционных конструкционно-теплоизоляционных изделий (газосиликат, пенобетон) и др.

На кафедре «Технологические комплексы, машины и механизмы» были предприняты попытки создания высококонцентрированных вяжущих суспензий на основе стекольного боя и анизотропного наполнителя - тонкомолотого вермикулита - с использованием разработанного коллективом кафедры технологического оборудования для сверхтонкого и тонкого диспергирования материалов. Согласно [1], нами отработана технология получения натриево-силикатной суспензии, обладающей хорошей формовочной способностью, средней пористостью (20-30%) и высокой прочностью ($\sigma_{сж} \leq 70$ МПа). Армирующим компонентом и наполнителем выступает дисперсный вермикулит, измельченный с помощью дезинтегратора [2] до удельной поверхности $S_{уд} = 450$ м²/кг.

Основными этапами технологии производства вышеупомянутых суспензий являются сверхтонкое измельчение и гомогенизация дисперсных систем. На этапе мокрого помола стекольного боя (г. Дятьково) использовался центробежный помольно-смесительный агрегат (ЦПСА) [3,4] с заданными траекториями помольных камер, где происходило селективное диспергирование исходных компонентов в среде дистиллированной воды и натриево-карбонатных добавок. При этом время мокрого диспергирования стекольного боя в среде

щелочных добавок по сравнению с существующей технологией, описанной в работе [1], сократилось с 10 часов (шаровая мельница) до 5 часов (ЦПСА).

Диспергирование вермикулита осуществлялось в дезинтеграторе с внутренним рециклом измельчаемых материалов в течение получаса. Далее дисперсный вермикулит использовался в суспензии в качестве наполнителя. При формовании исследуемых образцов по ГОСТ 30459-96 были достигнуты следующие прочностные характеристики, которые представлены на графике (рис.1).

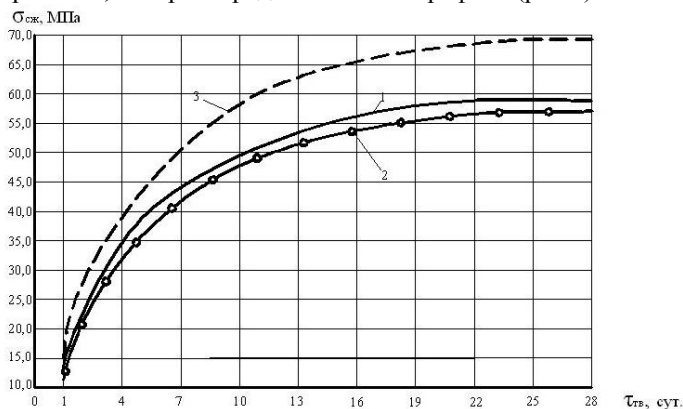


Рис. 1. Графическая зависимость прочности ($\sigma_{сж}$) исследуемых образцов безобжигового вяжущего с анизотропным наполнителем от времени твердения ($\tau_{ТВ}$): 1 – базовый состав, как в работе [1]; 2 – состав, модифицированный алюминиевой пудрой; 3 – состав, модифицированный тонкомолотым вермикулитом

График описывает сравнительную характеристику между базовым составом - 1, который был предварительно исследован в работе [1], и образцами на основе алюминиевой пудры - 2 и дисперсного вермикулита - 3. Прочность изделий на составе – 3 по сравнению с базовым составом – 1 выросла на 30 % и после 28 суток твердения составила 70 МПа. Прочность изделий из образцов - 1 и 2 – 69 и 67,5 МПа соответственно. Анализируя результаты прочностных характеристик трех составов, можно сказать, что состав – 3 обладает высокой прочностью по причине плотного армирования всего объема изделия дисперсным вермикулитом, который в измельченном состоянии также имеет слоистую структуру с развитой удельной поверхностью.

На рис. 2 представлены графические зависимости влияния натриевых добавок на прочность безобжоговых изделий после 28 суток твердения. Оптимальное содержание Na_2CO_3 и NaOH во всех трех образцах должно находиться в пределе 4-5% и 3-4%, соответственно.

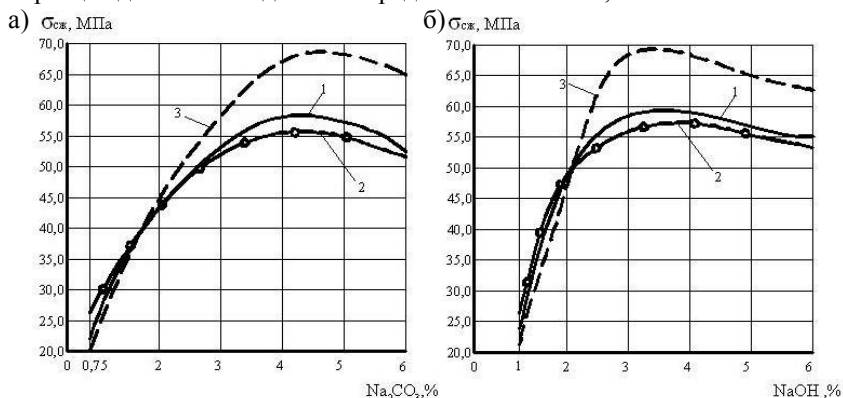


Рис. 2. Влияние натриевых добавок на прочность ($\sigma_{сж}$) исследуемых образцов: а) Na_2CO_3 ; б) NaOH .; 1 – базовый состав, как в работе [1]; 2 – состав, модифицированный алюминиевой пудрой; 3 – состав, модифицированный тонкомолотым вермикулитом

Особенностью процесса мокрого диспергирования стекольного боя в ЦПСА (рис. 3) является его высокая энергоэффективность, вариативность, однородность и стабильность получаемой суспензии.

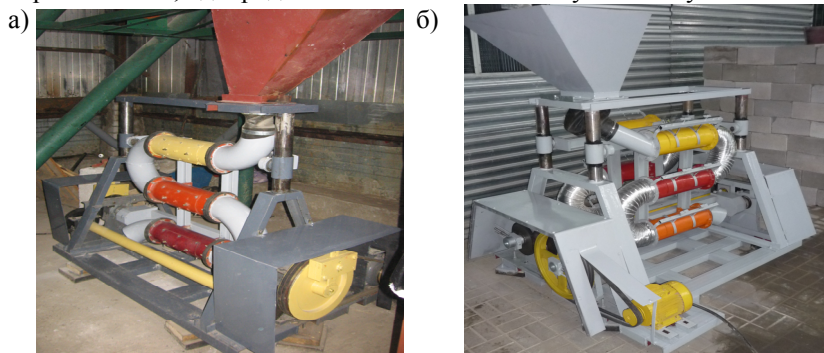


Рис. 3. Опытно-промышленные ЦПСА: а - с одним помольным блоком; б - с параллельными помольными блоками

ЦПСА содержат один или два, соответственно, параллельных помольных блока, причем, два параллельных помольных блока

обеспечивают самоуравновешивание подвижных рам с закрепленными на них рабочими камерами. Это исключает возникновение дополнительных динамических нагрузок, для преодоления которых необходимо затратить соответствующую работу.

По сравнению с существующими помольными агрегатами ЦПСА обладает следующими преимуществами и технологическими возможностями: селективное измельчение материалов на каждой стадии помола; минимизация энергозатрат при динамическом самоуравновешивании помольной системы; отсутствие застойных зон мелющих тел в каждой камере помола; реализация различных технологических процессов в агрегате (грубое, тонкое и сверхтонкое измельчение материалов, их гомогенизация); возможность изменения динамики воздействия мелющих тел для материалов различной размолоспособности; возможность организации различных технологических схем измельчения.

Не менее важной стадией производства подобного рода безобжиговых вяжущих является диспергирование анизотропных материалов с развитой поверхностью (например, вермикулит, перлит, флогопит и др.). Именно такого типа наполнители придают высокие прочностные показатели конструкционным изделиям за счет обеспечения микроармирования структуры, равномерного распределения по всему объему изделия и, в большей степени, близки по составу с матрицей изделия.

В нашей технологии производства безобжиговых вяжущих суспензий использовался тонкомолотый вермикулит, который измельчался в дезинтеграторе [2] (рис. 4).



Рис. 4. Дезинтегратор с внутренним рециклом измельчаемых материалов

С использованием дезинтегратора получены высокодисперсные порошки вермикулита, отходов производства вспученного перлита до $S_{уд} = 400-500 \text{ м}^2/\text{кг}$, которые могут использоваться при производстве безобжиговых вяжущих по технологии [1], изделий малых архитектурных форм и др. При помоле этих материалов удельный расход электроэнергии составляет от 25 (для перлита при $S_{уд} = 400 \text{ м}^2/\text{кг}$) до 40 кВт*ч/т (при механоактивации вермикулита до $S_{уд} = 450-500 \text{ м}^2/\text{кг}$), что гораздо ниже показателей других помольных агрегатов.

Исследование процессов диспергирования и гомогенизации дисперсных систем в современном технологическом оборудовании для малотоннажных производств позволяет рационально утилизировать отходы различных отраслей промышленности. Наряду с процессами изучения структур строительных изделий возможно появление новых композиционных материалов, которые отвечают всем требованиям современного производства строительных материалов и изделий, а их физико-механические характеристики по многим параметрам превосходят ранее используемые в строительстве аналоги. Безусловно, в получении строительных материалов с высокими прочностными характеристиками важную роль играет дисперсный состав вяжущего и наполнителя. Причем наполнитель должен обладать достаточно развитой поверхностью для обеспечения высокой адгезии материалов и, как следствие, высокой прочности.

Представленное оборудование для помола материалов, где процессы разрушения частиц происходят за счет энергоэффективного сочетания различного вида механического воздействия, является объектом коммерциализации.

Список литературы:

1. Пузанов, С. И. Использование стеклобоя как сырья для получения бетонов / С.И. Пузанов, А.А. Кетов, П.А. Кетов // Вестник ПГТУ: Химическая технология и биотехнология. – 2008. - №8. – С. 113–120.
2. Пат. RU № 2377070, В02С13/22 Дезинтегратор / В.С. Севостьянов, А.Е. Качаев и др./заявл. 06.05.2008 №2008118079, опубл. в бюлл. №36, 2009, 3 с. ил.
3. Пат. RU № 2381837 В02С17/18 Помольно-смесительный агрегат/ В.С. Севостьянов, В.И. Уральский, А.В. Уральский и др./ заявл. 11.03.2008 №2008109444/03, опубл. в бюлл. №5, 2010, 5 с. ил.
4. Пат. RU № 2277973 В02С17/18 Помольно-смесительный агрегат/ В.С. Севостьянов, В.И. Уральский и др./ заявл. 24.06.2005 №2005105687, опубл. в бюлл. №4, 2006, 5 с. ил.

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ИЗМЕНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ СПЕЦСТРОЯ РФ

Каширин В.А., научн. сотрудник

*Военно-технический университет при Федеральном агентстве
специального строительства Российской Федерации*

К настоящему времени разработано и предложено большое количество различных методов, позволяющих с помощью искусственного воздействия на грунты решать разнообразные инженерные задачи, как в качестве самостоятельных мер, так и в комплексе с другими видами мероприятий.

Сложилась ситуация, когда для классификации этих разнообразных методов в современной технической литературе действует несколько понятий, от терминов “закрепление”, “укрепление” грунтов и т.д. до более позднего термина “Техническая мелиорация”. Зачастую, смысловая разница между этими понятиями настолько размыта, что представляет определённую сложность для читателя.

Анализируя последнюю изданную техническую литературу по этим вопросам, можно сделать вывод о перераспределении исторически сложившихся понятий в области изучения строительных свойств грунта. Термин “техническая мелиорация грунтов” охватывает все направления искусственного воздействия с целью улучшения качественных показателей геологической среды и отражает научную и практическую деятельность широкого круга специалистов: геологов, инженеров-строителей, химиков. Другие понятия “стабилизация”, “закрепление” или “укрепление” грунтов менее определены и обычно используются для обозначения более узких областей и отдельных групп методов, отражая исторические, профессиональные и другие традиции.

Как известно, для выбора какого-либо оптимального метода рассматривается ряд вариантов, который потом подвергается критическому анализу с точки зрения различных критериев, выстроенных по приоритету.

Методы улучшения строительных свойств грунтов отличаются между собой:

- по стоимости работ;
- по применяемому оборудованию;
- по сроками;
- по квалификации работников;

- по инженерно геологическим условиям;
- по климатическим условиям.

В современном строительстве применяется следующие группы методов:

- Методы механического уплотнения и предварительного замачивания.
- Методы дренирования и консолидации грунтов.
- Армирование грунтов.
- Грунт как строительный материал.
- Цементация грунтов.
- Цементация грунтов гидравлическими вяжущими.
- Улучшение грунтов обработкой органическими веществами.

В данной статье остановимся для примера на физико-механических методах мелиорации грунтов (таблица №1).

Таблица - 1. Основные типы, назначение и качественная оценка методов физико-механической мелиорации грунтов

	№ п/п	метод	грунты в которых применим метод	изменяемые свойства грунтов
Методы механического уплотнения и предварительного замачивания грунтов	1	уплотнение грунтов укаткой	глинистые грунты	увеличение плотности, прочности на сжатие и модуля упругости
	2	улучшение грунтов гранулометрическими добавками	крупнообломочные, песчаные, пылеватые, глинистые	увеличение плотности, прочности на сжатие и модуля упругости
	3	трамбование грунтов	крупнообломочные, песчаные, пылеватые, глинистые	увеличение плотности и однородности сложения. устранение просадочности
	4	виброуплотнение грунтов	песчаные	увеличение плотности и однородности сложения. снижение опасности разжижения
	5	сейсмоуплотнение грунтов	песчаные, пылеватые	увеличение плотности и однородности сложения. устранение просадочности
	6	уплотнение лессовых просадочных грунтов замачиванием	лессовые просадочные	увеличение плотности и однородности сложения. устранение просадочности

	7	способ предварительного замачивания набухающих грунтов	пылеватые, глинистые	увеличение плотности и однородности сложения. устранение просадочности
	8	предпостроечное оттаивание мёрзлых грунтов	вечномерзлые грунты	увеличение плотности и однородности сложения. устранение просадочности
Методы дренирования и консолидации грунтов	9	методы гравитационного дренирования грунтов	песчаные, крупнообломочные	снижение напоров, порового давления; появление капиллярной связанности. уменьшение сжимаемости и опасности разжижения
	10	геостатическое уплотнение(консолидация) слабых грунтов пригрузками	глинистые, песчаные, пылеватые	снижение напоров, порового давления; появление капиллярной связанности. уменьшение сжимаемости и опасности разжижения
	11	осушение и консолидация глинистых грунтов электроосмосом	глинистые	уменьшение влажности, пористости, повышение прочности, снижение опасности разжижения.
	12	консолидация слабых грунтов химическими сваями	глинистые, пылеватые, песчаные	уменьшение влажности, пористости, сжимаемости, повышение прочности(вертикальные дрены)
Армирование грунтов	13	балластные колонны и песчаные сваи	песчаные, глинистые	увеличение несущей способности. уменьшение величины и скорости осадок.
	14	грунтовые анкера	полускальные, крупнообломочные, песчаные, пылеватые, глинистые	армированный массив работает на растяжение, сжатие и изгиб
	15	буриинъекционные сваи	скальные, полускальные, крупнообломочные, песчаные, пылеватые, глинистые	армированный массив работает на растяжение, сжатие и изгиб

16	геокомпозиаты	песчаные, пылеватые, глинистые	увеличение несущей способности. снижение деформируемости, устройство фильтров и самоупрочивающихся грунтовых массивов
17	геоткани	песчаные, пылеватые, глинистые	увеличение несущей способности, снижение деформируемости, устройство фильтров и самоупрочивающихся грунтовых массивов

Применительно к Спецстрою РФ при восстановлении объектов специального назначения желательно иметь методы улучшения строительных свойств грунтов удовлетворяющие следующим критериям:

- *минимальные сроки строительства;*
- *минимальная стоимость;*
- *общестроительные требования к оборудованию и квалификации рабочих;*
- *доступность материала.*

Один из наиболее важных критериев это сроки строительства. В районах не обеспеченных стандартными каменными материалами, применение грунтов, усиленных цементом, часто является безальтернативным. Так как область возможного применения в восстановлении объектов ограничивается значительным сроком набора прочности.

Мировая же практика подсказывает, что выход из этого положения при улучшении свойств укрепленных грунтов может лежать в использовании полимерных добавок. В области строительства автомобильных дорог на структурно неустойчивых грунтах разработано эффективное средство решения проблемы инновационные технологии NICOFLOK, опирающиеся на применение специальной добавки в виде полимерно-минеральной композиции. В ее основе заложены редиспергируемые полимерные порошки и минеральные наполнители. Данные сочетания позволяют обеспечить высокие темпы набора прочности, гидрофобность, морозостойкость укрепленного грунта.

Технологии были разработаны специалистами петербургской компании «Никель», Военной академии тыла и транспорта имени

генерала армии А.В. Хрулева и главного управления автомобильных дорог Нижегородской области.

NICOFLOK является композицией, состоящей из определенным образом подобранных минералов по заданному химическому составу и активации, а также полимеров, состоящих из молекул, называемых «гребнеобразными». При контакте с водой происходит активация влаги, что влияет на общий энергетический баланс всей системы укрепляемой смеси и приводит к дополнительной активации цемента, а значит и к увеличению прочности укрепляемого грунта в более короткие сроки. Поскольку воздействие направлено не на грунтовые частицы, а на воду, NICOFLOK применим для всех видов грунтов. При этом какие-либо ограничения по кислотности грунта, наличию сульфатов, хлоридов, гипса отсутствуют. Вместе с тем NICOFLOK обеспечивает более существенное увеличение прочностных и деформационных характеристик укрепленного грунта и характеризуется повышенной адгезией к битуму (напряжение на отрыве составило от 0,12 МПа для битумов с пониженной вязкостью и до 0,25 МПа для битумов с высокой вязкостью). Адгезия настолько велика, что прочность склеивания определяется когезией вяжущего и разрыв образцов происходит по пленке битума. При этом коэффициент морозостойкости возрастает до 0,9...0,95, тогда как без добавки этот показатель не превышает 0,75.

Для решения вопросов быстрого восстановления подъездов к специальным объектам Спецстроя в ЧС и для быстрого восстановления самих объектов можно предложить вышеуказанную технологию.

Однако не имеется достоверных данных о поведении этой грунтовой смеси после уплотнения в первые, вторые сутки её устройства. Для определения деформационных характеристик, коэффициента уплотнения, в вышеуказанные сроки, в ближайшее время планируем провести серию экспериментов в лабораторных условиях, а позже и полевых.

Список литературы:

1. *Воронкевич, С. Д.* Повышение надёжности инъекционного химического закрепления лессовых грунтов / С.Д. Воронкевич, Т.Т. Абрамова, Н.А. Ларионова // Инженерная геология. - 1992. - № 6. - С. 25-33.
2. СНиП 3.06.04-91. Мосты и трубы. Москва 1992г.
3. Основы технической мелиорации грунтов. - М.: Научный мир, 2005. - 504 с.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ АСПИРАЦИОННЫХ УКРЫТИЙ И МЕТОДОВ ИХ РАСЧЁТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОЙИНДУСТРИИ

**Киреев В.М., ассистент,
Гольцов А.Б., ассистент,
Минко В.А., д-р техн. наук, профессор,
Староверов С.В., канд. техн. наук, доцент,
Феоктистов А.Ю., канд. техн. наук, доцент**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Технологические процессы переработки сыпучих материалов в строительной индустрии являются источником интенсивных пылевывделений. Особенно высокий уровень пылевых выбросов характерен для предприятий по производству таких строительных материалов как силикатный кирпич и железобетонные изделия. Для поддержания требуемых ПДК пыли в рабочей зоне и ПДВ на выбросе в атмосферу как основные, так и оборотные средства предприятия, что отражается на их конкурентоспособности.

На сегодняшний день аспирация как наиболее распространенный и универсальный способ локализации пылевывделений остаётся недостаточно эффективным, прежде всего из – за неточных методик расчёта и конструктивного несовершенства применяемых укрытий, которые являются одним из определяющих элементов системы аспирации. По нашему мнению, наиболее перспективным решением этой проблемы [1] является использование аспирационного укрытия места перегрузки сыпучего материала как первой ступени очистки воздуха с соблюдением требований минимальных объёмов удаляемого воздуха и обладающей простотой конструкции.

Основной задачей работы аспирационного укрытия является предотвращение выбивания запылённого воздуха при минимальных объёмах удаляемого воздуха, а также минимальной концентрации пыли в нем. Существует множество конструкций аспирационных укрытий направленных на оптимизацию одного из приведённых параметров работы укрытия.

Конструкции, направленные на снижение концентрации пыли, можно разделить на две группы: укрытия, в которых осаждение пыли осуществляется с помощью воды или пены (укрытия-пылеуловители мокрого типа) и укрытия, в которых осаждение пыли осуществляется за

счёт инерционных сил без применения воды (укрытия-пылеуловители сухого типа).

Применение укрытий первой группы ограничено технологическими требованиями к перерабатываемому материалу.

Сухие укрытия-пылеуловители нуждаются в разработке как в направлении интенсификации процесса осаждения пыли, так и в направлении простоты и надёжности конструкции. К таким аспирационным укрытиям следует отнести аспирационные укрытия с пылеприёмником сепаратором, а также аспирационные укрытия с отсосом-пылеотделителем циклонного типа [1], принцип работы которых основан на внедрении в аспирационную воронку инерционного аппарата очистки. Данные технические решения имеют ряд существенных недостатков: они крайне усложняют конструкцию аспирационного укрытия, требуют постоянного обслуживания, и не применимы в определённых условиях, к примеру, в случае очистки от налипающей пыли. Также данные конструкции укрытий не позволят добиться равномерного распределения разрежения вдоль укрытия, что ведёт к значительному увеличению требуемых объёмов аспирации [2], кроме того аспирационный воздух, удаляемый местными отсосами, будет иметь высокую скорость, и создавать вихрь, что может привести к дополнительному уносу материала.

Как показали исследования [2], наиболее полно отвечают всем указанным требованиям аспирационные укрытия с двойными стенками и вертикальной жесткой перегородкой [3], поэтому дальнейшие усовершенствования конструкций аспирационных укрытий, в том числе направленные на снижение концентрации, целесообразно вести используя принцип двойных стенок.

Однако, несмотря на широкое применение данного типа укрытий, а также ряд исследований направленных на изучение их аэродинамических свойств [3], вопросы пылеочистки в аспирационных укрытиях данного типа не рассматривались. В связи с этим нами был произведён натурный промышленный и численный эксперимент. Целью эксперимента являлось изучение процессов пылеочистки в рассматриваемых аспирационных укрытиях, результаты которого позволят прогнозировать данные об аспирируемой пыли в аспирационном воздухе, необходимые для выбора пылеуловителя.

Натурный эксперимент проводился на специально разработанной промышленной установке с изменением её конструкции. Исследовалась работа одного аспирационного укрытия с одинарными и двойными стенками при одинаковых условиях работы: производительность

перегрузки, объёмы аспирации, свойства перегружаемого материала. Для проведения промышленного эксперимента нами была запроектирована аспирационная установка на перегрузке сыпучих материалов (гранитный щебень, песок) в цехе по производству железобетонных шпал на ЗАО «Белшпала» г. Белгород.

Отбор проб пыли осуществлялся в соответствии с [4, 8], методом внешней фильтрации, с помощью комплекта пылезаборного оборудования, изготовленного в НИИОГаз. Отбор проб из запыленного воздуха проводился с соблюдением изокINETичности. Осаждение пыли производилось при помощи аналитических фильтров аэрозольных АФА ВП-10 из гидрофобного полимерного материала ФПП-15 с площадью фильтрации $\cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Всего было отобрано 10 проб от каждого укрытия при одинаковом времени забора пыли.

Согласно [3] дисперсный состав и концентрация пыли в аспирируемом воздухе определяется параметром d_{max} (максимальный диаметр частиц пыли, уходящих в аспирационную воронку). Поэтому перед нами стояла первоочередная задача определения максимального диаметра частиц пыли в аспирируемом воздухе, и в этом случае наиболее подходящим методом исследования пылевого препарата является метод микроскопирования. Оценка размеров уловленной пыли производилась при помощи микроскопа стереоскопического МБС-9 с окуляром со сменной сеткой максимальное увеличение, которого составляет 100 крат.

В строительном производстве сыпучие материалы по форме частиц относятся к классу острозернистых [4] с различной степенью неизометричности. Общая крупность частиц оценивалась величиной эквивалентного диаметра.

Натурный эксперимент проводился на перегрузке песка и гранитного щебня. Результатами промышленного эксперимента являлись значения эквивалентного максимального диаметра аспирируемой пыли d_{max} для аспирационного укрытия с одинарными стенками и аспирационного укрытия с двойными стенками и вертикальной жесткой перегородкой. Результаты осреднения данных эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

Обработанные результаты промышленного эксперимента

Конструкция аспирационного укрытия	Аспирационное укрытие с одинарными стенками	Аспирационное укрытие с двойными стенками и вертикальной	Расчётное значение по [1] для одинарных

		жесткой перегородкой	стенок
Значение d_{\max} , мкм при перегрузке песка	111	85	138
Значение d_{\max} , мкм при перегрузке гранитного щебня	98	63	126

Расхождение значений d_{\max} , полученных на промышленной установке от расчётных можно объяснить погрешностями применения метода микроскопии. Однако, как видно из приведённых результатов значение d_{\max} в аспирационном укрытии с жесткой перегородкой снизилось в среднем на 25-30% что объясняется действием дополнительных инерционных сил действующих на частицы пыли. Этим же объясняется более высокая степень очистки для пыли гранитного щебня, которая имеет более высокую плотность, чем природный песок. В промышленном эксперименте не учитывались аэродинамические преимущества укрытий с двойными стенками, которые позволяют снизить требуемые объёмы аспирации Q_a [3] порядка 20%, а так как d_{\max} является функцией данной величины Q_a , то можно утверждать что учет данного фактора приведёт к ещё большему снижению максимального диаметра.

Численный эксперимент проводился при помощи программного комплекса FloWorks, работающего на решении уравнения Навье-Стокса [5] и программы «Spektr», в которой используется модель плоских потенциальных течений, полученная при помощи метода ГИУ [6]. Результаты обработки данных численного эксперимента приведены в табл. 2, 3.

Таблица 2

Значения d_{\max} полученные при помощи численного эксперимента при рассмотрении перегрузки песка

Конструкция аспирационного укрытия	Аспирационное укрытие с одинарными стенками	Аспирационное укрытие с двойными стенками и вертикальной жесткой перегородкой	Расчётное значение d_{\max} по [1]
Значение d_{\max} , мкм полученное с помощью FloWorks	98	66	138
Значение d_{\max} , мкм	80	57	

полученное с помощью программы «Spektr»			
-----------------------------------------	--	--	--

Таблица 3

Значения d_{\max} полученные при помощи численного эксперимента при рассмотрении перегрузки гранитного щебня

Конструкция аспирационного укрытия	Аспирационное укрытие с одинарными стенками	Аспирационное укрытие с двойными стенками и вертикальной жесткой перегородкой	Расчётное значение d_{\max} по [1]
Значение d_{\max} , мкм полученное с помощью FloWorks	89	52	126
Значение d_{\max} , мкм полученное с помощью программы «Spektr»	74	48	

Значения d_{\max} , полученные при помощи в результате численного эксперимента, имеют значительные расхождения по сравнению с замеренными, что, предположительно, следует объяснять реальными свойствами пыли, а также влиянием ряда факторов. Однако расхождения лежат в области погрешности и, следовательно, результаты качественно подтверждают возможность применения данных программных комплексов при исследовании работы укрытий.

Анализируя результаты численного и промышленного экспериментов, можно сделать вывод, что жесткая перегородка снижает значение максимального диаметра аспирируемой пыли на 20-30 % в зависимости от условий применений. Так же нами разработаны ряд конструкций на основе укрытия с двойными стенками и жесткой перегородкой которые, в ещё большей степени позволяют использовать инерционные силы в процессе пылеочистки [7, 9]. Это обусловит значительное снижение концентрации пыли в аспирируемом воздухе а, следовательно, повысит надежность системы аспирации, снизит энергоёмкость систем, и в некоторых случаях, позволит отказаться от первой ступени очистки аспирационного воздуха.

Список литературы:

1. *Логачев, И. Н.* Аэродинамические основы вентиляции / И.Н. Логачёв, К.И. Логачёв. - Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. - 659 с.

2. *Минко, В. А.* Комплексное обеспыливание производственных помещений при транспортировании и механической переработке сыпучего минерального сырья. Диссертация на соискание доктора технических наук. - Белгород, 1988. - 513 с.
3. *Минко, В. А.* Обеспыливание технологических процессов производства строительных материалов / В.А. Минко. - Воронеж: ВГУ, 1981. - 176 с.
4. *Коузов, П. А.* Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей / П.А. Коузов, Л.Я. Скрябина. — Л.: Химия, 1983. - 143 с.
5. *Беркович, М. Т.* Промышленная пыль / М.Т. Беркович, Я.З. Бухман. – Свердловск: Metallurgizdat, 1960. - 240 с.
6. *Алямовский, А. А.* Solid Works. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
7. *Киреев, В. М.* Расчёт и разработка аспирационных укрытий мест перегрузок / В.М. Киреев, А.Б. Гольцов; В.А. Минко // Вестник БГТУ. Научно-теоретический журнал. – 2010. – №3. – С. 114–117.
8. ГОСТ Р 50820-95 "Оборудование газоочистное и пылеулавливающее".
9. Пат. ⁽¹⁹⁾RU¹¹ 97438¹³ U1 Российская Федерация, 51 МПК E21F 5/00 (2006.01). Аспирационное укрытие мест перегрузки сыпучего материала. Киреев В.М. и др.

ВОЗМОЖНОСТИ БАЛАНСИРОВКИ РОТОРОВ ДРОБИЛОК УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

**Кирильчук М.В., аспирант,
Ханина О.С., канд. техн. наук, доцент**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Во многих машинах промышленности строительных материалов присутствуют роторы, многие из которых вращаются с большими скоростями. В настоящий момент одной из основных проблем такого оборудования является их неуравновешенность и последующие негативные явления, связанные с вибрациями и потерями мощности привода и быстрым износом узлов и деталей машины. Для машин ударного действия эти явления имеют особое значение ввиду значительной массы ротора и степеней износа ударных элементов. Для решения этой проблемы применяют различные балансирующие устройства, различающиеся по принципу действия. Рассмотрим наиболее характерные типы балансировщиков, существующих на данный момент. Все балансировщики подразделяют на ручные и автоматические. Для всех отраслей промышленности наибольший интерес представляют автоматические балансировщики, которые позволяют реагировать на режимное изменение дебаланса ротора из-за деформации под действием центробежных сил, температурных полей, ослабления соединения, неравномерности обжата, коррозии, износа и других причин. Автоматическую балансировку возможно проводить на балансировочных станках или стендах, однако это не рационально в условиях непрерывного производства. Поэтому необходимы устройства, встроенные в ротор которые бы могли производить балансировку во время работы. Все балансировочные устройства возможно подразделить на два типа: с принудительным перемещением каких-либо масс под действием дополнительно приложенных сил и свободным перемещением, когда массы перемещаются под действием сил, возникающих при работе машины. Рассмотрим образцы, встречающиеся в промышленности.

Наиболее распространенными являются жидкосные и металло-жидкосные балансировщики. Одним из ряда представителей жидкостных балансировочных устройств, обладающих рядом однотипных характеристик является конструкция [1]. В ней присутствуют камеры, расположенные по периферии вращающегося

тела, в которых имеются плавающие перегородки. Таким образом, каждая камера разделяется на две субкамеры с жидкостью различной плотности в каждой из них. Все камеры соединены трубопроводами таким образом, что жидкость имеет возможность перераспределяться между ними. Следовательно, когда в теле возникает дисбаланс, и главная ось инерции не совпадает с осью вращения, более тяжелая жидкость начинает перемещаться из более тяжелого места к более легкому, что в конечном итоге компенсирует дисбаланс. В ряде других конструкций [2], камера для уравнивания представляет отдельное устройство, крепящееся к валу и расположенное относительно него коаксиально. Она разделена на секторные камеры, в которые с помощью специальной системы с соплами и каналами дозируют компенсирующую жидкость. Жидкость дозируется в определенные камеры исходя из расчетов, проведенных центральным процессором, который учитывает и обрабатывает показания измерительной аппаратуры. Существуют другие виды жидкостных балансировщиков, один из которых описан в конструкции [3]. Здесь распределение массы происходит от управляющего воздействия, вызванного нагревом нагревательных элементов, а как следствие нагревом жидкости, который вызывает перераспределение в камерах через систему трубопроводов. Камеры с более горячей жидкостью теряют массу при одновременном увеличении массы в камерах с более холодной жидкостью. Это устройство имеет серьезный недостаток, требующий постоянного поддержания напряжения на катушках нагревательного элемента, что уменьшает надежность и повышает стоимость эксплуатации машины. Данные устройства обеспечивают весьма точные результаты балансировки, однако, наряду с этим у него, как и у всех жидкостных балансировщиков, есть существенный недостаток. Это возможность сбалансировать лишь небольшие отклонения по массе, ввиду большой разницы в плотности балансирующей жидкости и материала ротора, а так же весьма сложной системы взаимосвязи камер или дозирования жидкости, поэтому в ПСМ не применяется. Единственной альтернативой жидкости может служить такой металл как ртуть, но его применение весьма ограничено ввиду высоких требований к безопасности и значительной стоимости.

Металло-жидкосные балансировщики так же весьма распространены и имеют большое количество конструктивных исполнений. Одно из них это цилиндрическая конструкция, коаксиально насаживаемая на вал, в которой для уравнивания используют камеру с шарами или телами различного калибра. Наиболее

ярко устройства данного типа представлены в [4]. В теле имеются каналы, различного размера, определяемого геометрическими размерами балансирующих тел (шаров, цилиндров, эллипсоидов) на различном расстоянии от оси вращения в которые помещают балансирующие тела. Оставшееся пространство в камере обычно заполняют машинным маслом, для обеспечения плавной работы и амортизации. Точность данных типов устройств зависит от массы наименьшего балансирующего тела. Балансировка происходит автоматически, под действием центробежных сил, балансирующие тела перераспределяются в камере таким образом, что большинство смещаются в «легкое» место ротора тем самым устраняя дисбаланс. Данные устройства могут применяться в ПСМ, особенно в устройствах закрепленных консольно, однако обладают довольно приблизительной точностью, и могут регулировать только в определенных диапазонах дисбаланса. Это связано с тем, что при необходимости реагировать на малейшие изменения в дисбалансе требуются балансирующие тела крайне малого размера, что влечет за собой увеличение каналов и усложнению конструкции.

Согласно вышеуказанному можно отметить, что использование жидкосного и метало – жидкосного балансировщика для ПСМ не является достаточно приемлемым вариантом. Можно так же обозначить критерии, которыми должен обладать балансировщик для ПСМ: достаточно высокая точность балансировки, при одновременном высоком уровне автоматизации, простоте конструкции и надежности работы. Еще одним не менее важным условием является соотношение плотностей массы дисбаланса и балансирующей массы, которая по возможности должна быть либо равной, либо превосходить значение плотности массы дисбаланса вращающегося тела. Вместе с тем, необходимо так же обеспечить необходимую степень надежности и нечувствительности к разного рода агрессивным воздействиям среды.

Поэтому предлагается рассмотреть принцип работы автоматического балансирующего устройства (Рис 1).

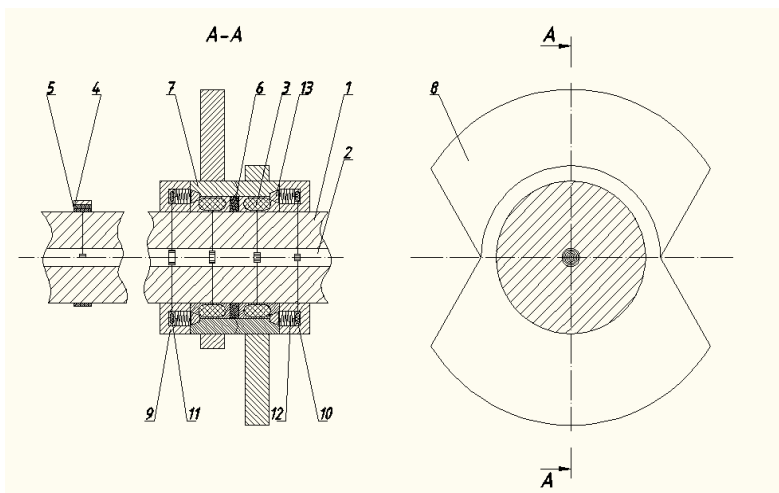


Рис. 1. Конструкция балансирующего устройства

- 1 – вал; 2 – канал; 3 – электромагнит; 4 – токосъемное устройство; 5 – щетки;
 6 – диск; 7 – постоянные магниты; 8 – уравнивающие массы; 9 – диски;
 10 – электромагнит; 11 – катушка индуктивности; 12 – пружины;
 13 – секторные клинья

Устройство начинает работу при подаче электрического тока к катушкам электромагнита 10, после чего силы магнитной индукции, возникающие в электромагните, втягивают пружину 12 с секторными клиньями 13 в полость диска 9, тем самым освобождая уравнивающие массы для вращения. Затем подается электрический ток к катушкам 3 электромагнита, который силами магнитной индукции может двигать диски 7 в радиальном направлении. Диски смещаются в противоположном направлении, компенсируя дебаланс ротора. При устранении дебаланса электрический ток подается в катушке в последовательности обратной, описанной выше. При этом устройство фиксируется, тем самым предотвращая свободное вращение балансирующих масс.

Использование балансирующих устройств является необходимым в ПСМ, особенно там где присутствуют неуравновешенности рабочих органов. Однако использование таких устройств затруднено из-за сложных условий работы оборудования, поэтому большинство балансировщиков, существующих на данный момент, распространения в

ПСМ не получили. Предложенный тип балансировщика в большей степени соответствует требованиям, предъявляем при балансировке роторов машин ударного действия. Предполагается, что применение устройства сократит простои цепочек технологического оборудования по причине превышения, связанных с машинами ударного действия по превышению уровня вибрации, что положительно скажется на технико-экономическую ситуацию предприятия.

Список литературы:

1. Patent GB № 1426506 ind. F2U 1, B3D 2M, Devise for automatic correction of out-of-balance in rapidly rotating machine elements; pub. 3 March 1976.
2. Hofmann D. № 1508531 GB, Index F2U 1, B3D 2M, Apparatus for compensating for unbalance of rotary body; pub. 26 April 1978.
3. Kerlin J.H. № 2097101 GB, Index F2U 1, B3D 2M, Unbalance compensator and method of distributing balancing mass in same; pub. 27 Oct. 1982.
4. Гэри, Р.Т. № 2109097 РФ, МПК D 06 F 37/20, F16 Стиральная машина, уравнивающий структурный элемент и способ динамического уравнивания вращающегося элемента / Гэри Р.Т., Антон Газафи, опуб. 20.04.1998.

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОЛОТКОВ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Кирильчук М.В., аспирант

Ханина О.С., канд. техн. наук, доцент

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

Изнашивание рабочих поверхностей технологического оборудования является неизбежным процессом при измельчении, однако в некоторых машинах этот износ имеет значительное влияние на технологический процесс, надежность и безотказность машины. К такому оборудованию можно отнести машины ударного действия, где время работы рабочих поверхностей и отбойных плит особенно при измельчении высокопрочных и абразивных материалов измеряется сутками или даже часами. Их недостаточная долговечность и большие материальные затраты на восстановление изношенных элементов, ограничивают такой прогрессивный способ измельчения как измельчение ударом. Вместе с тем, количество машин ударного действия при переработке сырьевых материалов продолжает возрастать, что заставляет исследователей более детально взглянуть на данную проблему. Необходимо отметить, что влияние повышенного износа рабочих органов стараются решить двумя путями: путем конструктивного совершенствования рабочих органов и путем совершенствования их химического состава. Однако повышение твердости образцов ударных элементов понижает их вязкость, что не дает желаемого результата. Исходя из этого, многие исследователи обращают свое внимание на способы продления цикла работы ударных элементов, либо способы их быстрой замены. Рассмотрим различные группы таких молотков.

Для увеличения срока службы молотка чаще всего применяют износостойкие вставки, которые крепятся при помощи межмолекулярных сил сцепления вызванных нагреванием или силами трения. Так износостойкий элемент в работе крепится при помощи пластины, фиксирующейся при помощи сварки. Такая конструкция не распространена ввиду ненадежности сварного соединения при ударном воздействии, однако стоит отметить, что в данном случае смена рабочей вставки не требует больших затрат времени и ресурсов. При термическом креплении износостойких элементов к молотку, изготовление их контактной поверхности возможно волнистой для

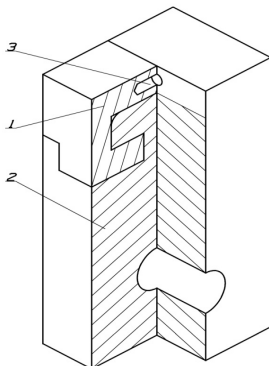
увеличения площади контакта, которая позволит исключить отслаивание износостойкого элемента при больших нагрузках. В некоторых случаях ударный элемент формируется методом заливания металла в форму с заранее установленными износостойкими вставками. При заливании металла ферросплавы плавятся и смешиваясь с основным металлом образуют зоны повышенной сопротивляемости износу - «соты», обеспечивая гибкость конструкции [1]. Существуют молотки, имеющие U - или Y - образную головку с износостойкими вставками, которые призваны уменьшить износ. Иногда износостойкие вставки имеют не строго прямоугольную форму, а ступенчатую пирамидальную форму, которая для прямоугольного молотка обеспечивает идентичность моментов сопротивления во всех сечениях молотка. Износостойкие вставки значительно увеличивают срок службы молотка, однако их существенным недостатком является невозможность быстрого восстановить форму ударного элемента, а так же необходимость применения специализированного оборудования для восстановления.

Еще одна группа конструкций представляет собой совершенствование крепления ударной части молотка к билдержателю. Существуют конструкции, где крепление била осуществляется шарнирно посредством оси. При этом вся нагрузка приходится на шарнирный узел, что в условиях больших нагрузок приводит к быстрому выходу конструкции из строя. Некоторые конструкции могут частично устранить данный недостаток, в них присутствует било с отверстием, в которое входит выступ билдержателя, таким образом, реализуя двухопорную схему била [2]. Эти решения применимы лишь для мельниц ввиду наличия больших нагрузок у дробилок. Для дробилок существуют другие конструкции быстросъемных молотков. Некоторые представляют молоток с T-образной прорезью в теле, таким образом, молоток имеет C - образное сечение. Другие молотки имеют наклонный к вертикальной оси молотка паз под углом 45° - 60° , ширина которого меньше диаметра оси. Однако даже такие незначительные ослабления сечения при работе приводят к нарушению целостности молотка. Быстросъемные крепления недостаточно надежны, поэтому многие исследователи обращают свое внимание на «бесконечные молотки». Наиболее простые из них представляют собой замкнутые контуры виде окружности или прямоугольника. Материалом для изготовления такого рода молотков служат стальные канаты. Порядок работы следующий - при износе одной кромки происходит поворот на определенный градус с

открытием других граней. Некоторые конструкции призваны продлить срок службы стандартных прямоугольных молотков, путем вставки усеченной полусферы на оси в верхнюю часть молотка. При работе полусфера изнашивается в месте контакта с материалом, возникает дисбаланс и полусфера поворачивается вокруг оси, тем самым компенсируя износ части поверхности.

Исходя из вышесказанного можно сформулировать требования предъявляемые к конструкции молотка: достаточная прочность для измельчения прочных сырьевых материалов, возможность легкой смены изношенных бил без затрат большого количества времени; простота конструкции, высокий коэффициент металлоемкости. В какой-то степени этим требованиям удовлетворяют конструкции со сменными рабочими поверхностями. Самые простые конструкции представлены П - образной насадкой закрепляемой на молотке штифтами, другие - представляют собой головку насаживаемую на цилиндрический держатель и крепящийся при помощи фиксирующего блока, в цилиндрическую канавку билодержателя. Форма головки может быть различной - от треугольной до шестигранной, ввиду возможности использовать прокатный профиль [3]. При износе одной грани головка поворачивается и открывает для работы другую. Еще одна конструкция предполагает использование билодержателя, конец которого имеет форму «ласточкин хвост», к нему при помощи болтового соединения прикрепляется головка молотка состоящая из двух половинок [4]. Все описанные конструкции со сменными вставками могут быть востребованы на предприятиях строительных материалов, так как часто из-за слабой технической оснащенности предприятий вместо восстановления молотков производят их замену. Приведенные конструкции со сменными вставками имеют один недостаток – болтовые соединения в рабочей части молотка быстро завальцовываются и становятся неразъемными, что приводит к дополнительным трудностям при демонтаже головок. Поэтому предлагается новая конструкция ударного элемента, которая позволит устранить этот недостаток.

Молоток (Рис. 1.) состоит из держака и накладки, которая имеет П - образное сечение, повернутое на 90° против часовой стрелки. В держак имеется впадина, в которую входит выступ накладки, второй выступ крепится при помощи шпильки и гаек. После того как накладка изнашивается, шпильку срезают с обратного конца молотка и при помощи автогена и накладка свободно выходит из зацепления.



1 – головка молотка; 2 – держак молотка; 3 – место крепления.

Рис. 1. Прототип молотка

Безусловно, все описанные конструкции молотков имеют ряд уникальных характеристик, однако применение их ограничено требованиями значительных вложений в конструкцию дробилки или обслуживающее оборудование. Исключением является применение износостойких сменных вставок, которые позволяют, не меняя базовую форму молотка, обеспечить значительный прирост эксплуатационных характеристик машины.

Список литературы:

1. А.с. 358003 СССР, МПК 02с 13/28, Било для молотковой мельницы/ Болотов А.Н., Святкин Б.К., Головач Н.С.; опуб. 03. 11. 1972, Бюл. №34 – 2с.
2. А.с. 198900 СССР, МПК В 02с 13/28, Било для молотковых мельниц/ Дианов И.М.; заявитель Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский котлотурбинный институт им. И. И. Ползунова; опуб. 28. 06. 1967, Бюл. № 14 – 2с.
3. А.с. 946653 СССР, МПК В 02с 13/28, Молоток дробилки/ Седов А.Ф., Головков Ю.П.; заявитель Уральский филиал Всесоюзного дважды ордена трудового Красного Знамени теплотехнического научно-исследовательского института им. Ф. Э. Дзержинского; опуб. 30.07.82, Бюл. № 28 – 2с.
4. А.с. 704660 СССР, МПК В 02с 13/28, Молоток для молотковой дробилки/ Аккерман Ю.Э., Никитин П.Н., заявитель Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектный институт механической обработки полезных ископаемых; опуб. 25.12.79, Бюл. № 47 – 2с.

СТАЛЬНЫЕ ФИБРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

Клюев А.В., аспирант,

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

За последние годы в России значительно выросли темпы строительства и ввода в эксплуатацию сооружений различного назначения. Дальнейший рост объемов строительства, что особенно актуально ввиду реализации приоритетного национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России», немыслим без значительного увеличения потребления такого важного строительного материала, как бетон. В связи с этим на рынке строительных материалов возрастает роль мелкозернистого бетона. Расширяется и номенклатура применения мелкозернистого бетона.

Повышение прочности и надежности строительных конструкций с одновременным снижением затрат на строительство является одной из основных задач. В связи с этим перспективным направлением считается использование сталефибробетона – композиционного материала из бетона, в котором армирующими материалами являются короткие стальные волокна (фибры) [2].

В настоящее время применяются стальные фибры различного типа. Основными характеристиками фибр являются: геометрические параметры, механические свойства, технологические характеристики и специальные свойства.

К геометрическим параметрам фибр относятся: длина и диаметр, состояние поверхности, форма поперечного сечения и т.д. При экспериментальных исследованиях выявлено, что чем больше длина фибры, тем больше сопротивление сталефибробетона растяжению.

Металлические фибры, применяемые в качестве арматуры, изготавливаются различными способами: резкой на отрезки заданной длины тонкой стальной проволоки, рубкой тонкого стального листа, фрезерованием специальных металлических заготовок-слябов, формованием (экструдированием) из расплава. Фибры могут иметь различную конфигурацию поперечного сечения: круглую, прямоугольную или треугольную, трапециевидную (рис. 1).



Рис. 1. Виды стальной фибры

Стальные фибры по форме поперечного сечения делятся на следующие виды: круглые, овальные, треугольные, трапециевидные, серповидные и др.

Фибры с гладкой поверхностью получают фрезерования слябов. Однако фибра, фрезерованная из слябов, несет в себе все их дефекты, которые устраняются только на последующих этапах металлургического передела – горячей и холодной деформации. Режимы фрезерования приводят к перекалу фибры, о чем свидетельствует характерный синеватый оттенок. Это в свою очередь

вызывает такой дефект металла, как “синеломкость”, т.е. разрушение при температуре до 100 градусов.

Проволочная фибра – наиболее универсальный материал, поддающийся наиболее точному нормированию в процессе производства проволоки, в настоящий момент широко распространена на мировом рынке. Ее применение гарантирует заданные свойства и необходимую повторяемость эксплуатационных характеристик [1].

Для улучшения анкерующей способности в бетонной матрице на фибру наносят периодический профиль, который увеличивает ее сцепление с бетонной смесью.

Подтверждением эффективности сталефибробетона в строительстве является зарубежный опыт его применения, широкий ассортимент стальной фибры и большое количество фирм, производящих фибру на постоянной основе. Производством стальной фибры заняты более 20 зарубежных фирм и корпораций. Причем это, как правило, мощные производители обычной стержневой и проволочной арматуры или металлоизделий.

Экономическая эффективность сталефибробетонных конструкций по сравнению с железобетонными обуславливается за счет:

- большого снижения трудоемкости;
- снижения материалоемкости;
- повышения долговечности;
- увеличения межремонтного ресурса;
- исключения недостатков, присущих стержневому армированию.

Имеется достаточно большой отечественный опыт применения сталефибробетона в строительстве (Москва, Санкт-Петербург, Липецк, Челябинск, Магнитогорск, Барнаул, Волхов).

Сейчас в России производится в год более 10 тыс. т стальной фибры и этот объем может быть увеличен в несколько раз на уже освоенных производствах (Магнитогорск, Курган, Санкт-Петербург). Но при этом большая часть фибры продается за рубеж.

Правильно приготовленный сталефибробетон по сравнению с неармированным бетоном имеет ряд преимуществ:

- повышение прочности при сжатии до 25%;
- повышение прочности на растяжение при изгибе до 250%;
- повышение прочности при осевом растяжении до 60-80%;
- повышение сопротивления удару до 10-12 раз;
- повышение модуля упругости до 20%;
- повышение долговечности конструкций и увеличение межремонтного цикла при их эксплуатации в 1,8...2,0 раза;

•повышается морозостойкость, водонепроницаемость, сопротивление знакопеременным температурам, сопротивление абразивному износу и др.;

•фибровое армирование придает бетонной матрице пластический характер разрушения и повышенную трещиностойкость.

На мой взгляд, применение стальной фибры в отечественной практике было бы очень выгодно для строительной индустрии и государства в целом.

Список литературы:

1. *Лесовик, Р. В.* Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сборных элементов конструкций / Р.В. Лесовик, А.В. Клюев, С.В. Клюев // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – Ч. 3. – С. 140–143.
2. *Рабинович, Ф. Н.* Дисперсно армированные бетоны / Ф.Н. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1989. – 174 с.

РАСЧЕТ ВЫСОКОПЛОТНОЙ УПАКОВКИ ЗЕРЕН МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

**Клюев А.В., аспирант,
Лесовик Р.В., д-р техн. наук, профессор**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Для одинаковых сфер в трех измерениях задача упаковки рассматривалась лишь эмпирическим – экспериментальным методом. Об эмпирических и теоретических результатах в этой области имеются сообщения в работах Дж. Бернала (1959), Дж. Бернала и Майзона (Bernal J.D. and Mason J., 1960), Бердийка (Boerdijk A.H., 1952), Коксетера (Coxeter H.S.M., 1958), Хигути (Higuti U., 1961), Мацке (Matzke E.B., 1950), Соломона (Solomon H., 1966), Уайза (Wise M. E., 1952), Скотта (Scott J. D., 1962), Финни и Бернала (Finney J.L. and Bernal J.D., 1967) и др.

Так, в 1962 г. Дж. Скотт, определяя плотность случайной упаковки одинаковых стальных и свинцовых шариков в больших сферических бутылках, установил что

$$\eta_1 = 0,64 - 0,33 / \sqrt[3]{N} ;$$

$$\eta_1 = 0,60 - 0,37 / \sqrt[3]{N} ,$$

где N – число шариков в бутылках при утряске и при свободной (без утряски) засыпке.

Как видно из этих выражений, при $N \rightarrow \infty$ $\eta_1 = 0,64$ и $\eta_1 = 0,60$ соответственно при уплотнении их слоя и без уплотнения. Приведем наши результаты в этой области, учитывая наличие в случайной упаковке твердых сфер фрагментов с кубической укладкой, пустоты между ними будем заполнять шариками последовательно меньшего и соответствующего размера. Наибольший размер пустот здесь будет равен

$$d_2 = (\sqrt{3} - 1)d_1 ,$$

где, d_1 – диаметр наибольших одинаковых сфер диаметром, равным 1. Тогда модуль прерывности в их последовательных размерах будет

$$M = d_1 / d_2 = 1 / (\sqrt{3} - 1) .$$

Размер пустот либо сфер последовательно меньшего размера, заполняющих эти пустоты, будет равен

$$d_2 = d_1 / M = (\sqrt{3} - 1)d_1 = 0,732d_1 ; \quad d_3 = d_2 / M = (\sqrt{3} - 1)^2 d_1 = 0,536d_1 ;$$

$$d_4 = d_3 / M = (\sqrt{3} - 1)^3 d_1 = 0,392d_1; \quad d_n = (\sqrt{3} - 1)^{n-1} d_1.$$

Бимодальные упаковки и методика расчета высокоплотных зерновых составов.

Бимодальные упаковки – это зернистые смеси, состоящие из двух фракций: наиболее крупной и мелкой. Плотность упаковки частиц в бимодальных упаковках увеличивается с уменьшением размера частиц мелкой фракции:

$$\sigma_2 = \eta_1 + (1 - \eta_1)\psi_{i,j}^{(m)},$$

где $\psi_{i,j}^{(m)}$ – степень заполнения свободного объема в крупной фракции частицами мелкой; $1 - \eta_1 = \varepsilon_1$ – свободный объем в слое крупной фракции, заполняемый мелкой фракцией [1].

Наибольшая плотность упаковки твердых сферических частиц в смеси определяется при $m = 12$, где m – класс системы:

$$\sigma_2 = 0,64976 + 0,35024 \cdot 0,649776 = 0,8773.$$

Плотность упаковки твердых сферических частиц в смеси, состоящей из двух фракций кварцевого песка и других зернистых материалов в сферических емкостях при $\eta_1 = \eta_2 = 0,64$ будет равна

$$\sigma_2 = 0,64 + 0,36 \cdot 0,64 = 0,8707.$$

При наличии сил трения между частицами заклинивания и зацепления плотность их упаковки снижается, это снижение наблюдается и в бимодальных упаковках. Так, при $m = 12$, $\eta_1 = \eta_2 = 0,634 - 0,600$ получим:

$$\sigma_2 = 0,634 + (1 - 0,634)0,634 = 0,866;$$

$$\sigma_2 = 0,60 + (1 - 0,60)0,60 = 0,840.$$

В табл. 1 приведены выражения для степени заполнения $\psi_{i,j}^{(m)}$ свободного объема в слое твердых сфер и абсолютные величины при $\eta_1 = 0,64976$ в зависимости от класса m системы распределения и относительного размера частиц мелкой фракции.

Анализ результатов расчета по данным табл. 1 показывает, что с уменьшением плотности упаковки частиц крупной фракции степень заполнения ее свободного объема мелкими частицами возрастает [2, 3].

Выражения $\psi_{i,j}^{(m)}$ понадобятся далее для расчета высокоплотных гранулометрических полидисперсных смесей по числу в них бимодальных упаковок (двойных связей).

Таблица 1

Степень заполнения свободного объема в слое крупных частиц в бимодальных упаковках частицами мелкой фракции в зависимости от класса системы m и ее относительного размера

Класс системы m	<1	1	2	3	4	4,5	5
$\psi_{i,j}^{(m)}$	$\varepsilon_i^3 \eta_i^3$	$\varepsilon_i^2 \eta_i^3$	$\varepsilon_i^2 \eta_i^2$	$\varepsilon_i^2 \eta_i$	ε_i^2	$\varepsilon_i \eta_i^2$	$\varepsilon_i^{3/2}, (\varepsilon_i^2 \eta_i)$
$\psi_{i,j}^{(m)}$	0,012	0,033	0,052	0,080	0,123	0,148	0,189
d_n / d_1	$\leq 0,73$	0,73	0,54	0,39	0,29	0,25	0,21
Класс системы m	6	7	8	9	10	11	12
$\psi_{i,j}^{(m)}$	$\varepsilon_i \eta_i$	$\varepsilon_i \eta_i^{3/2}$	ε_i	η_i^2	$\eta_i^{3/2}, (\varepsilon_i / \eta_i)$	$1 - \eta_i^2$	η_i
$\psi_{i,j}^{(m)}$	0,297	0,290	0,35	0,422	0,524	0,578	0,65
d_n / d_1	0,15	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02

Методика расчета гранулометрического состава полидисперсной смеси с высокоплотной упаковкой в ней зерен.

1. Расчет среднего размера зерен и количества каждой узкой фракции для получения высокоплотной смеси.

Расчет основан на установлении распределения зерен по среднему размеру каждой фракции, вводимой в будущую высокоплотную смесь. Для этого предварительно выделяют наиболее крупную узкую фракцию заполнителя, например, для тяжелого бетона $d_1 = 40 \dots 20$ мм, для мелкозернистого бетона $d_1 = 10 \dots 5$ мм и определяют насыпную плотность при утряске или виброуплотнении, а далее рассчитывают плотность упаковки зерен:

$$\eta_n = \gamma_n / \rho,$$

где γ_n , ρ – насыпная и средняя плотность зерен данной фракции. Известно, что плотность упаковки зерен крупных фракций заполнителя,

в зависимости от формы их зерен, колеблется в пределах $\eta_1 = 0,60 \dots 0,56$. Для расчета принимаем $\eta_1 = 0,58$ и $m = 3$:

$$d_n / d_1 = (2,549 / 10\eta_1)^{n-1} = (0,2549 / 0,58)^{n-1} = 1; 0,44; 0,193; 0,085; \\ 0,037; 0,0164; 0,0072; 0,003\dots$$

Расчет заканчивают тогда, когда средний размер мелкой фракции $d_n = (d_n / d_1)d_1 \text{ мм} = 0,003 \cdot 28,3 \text{ мм} = 0,09 \text{ мм}$ ограничивают размером, рекомендуемым для заполнителей бетонов, например $d_n = 0,14 \dots 0,1 \text{ мм}$. Тогда размеры зерен каждой узкой фракции при $d_1 = 40 \dots 20 \text{ мм}$ будут равны:

$$d_1 = 40 \dots 20 \text{ мм} (1; 0,44; 0,193; 0,085; 0,037; 0,0169; 0,072; 0,003) = 40 \dots 20;$$

17,6...8,8; 7,72...3,86; 3,4...1,7; 1,48...0,74; 1,676...0,338; 0,128...0,064 мм, где $\eta_1 = 0,58$; $\eta_2 = 0,59$; $\eta_3 = 0,60$; $\eta_4 = 0,61$; $\eta_5 = 0,62$; $\eta_6 = 0,62$; $\eta_7 = 0,60$.

2. Далее ведут подбор каждой фракции зернистого материала на стандартных ситах и определяют плотность упаковки их зерен по насыпной плотности при уплотнении их слоя в емкостях больших размеров или при увлажнении:

$$\eta_i = \gamma_i / \rho ,$$

где $\eta_1 = \eta_2 = 0,634$ – средняя плотность зерен.

3. В расчете количества каждой узкой фракции для получения высокоплотной зернистой смеси применяют любую произвольную величину G_1 массы наиболее крупной фракции, например 1 кг, 10 кг, 100 кг, или 100 мас. частей. Тогда количество каждой последующей мелкой фракции с учетом раздвижки зерен будет равно

$$G_2 = \frac{100}{\gamma_1} \varepsilon_1 \beta_2 \gamma_3 = 100 \varepsilon_1 \beta_2 \frac{\eta_2}{\eta_1} .$$

Просуммируем количество всех фракций, вводимых в смесь, и запишем это выражение в общем виде:

$$G_n = (1 - \sigma_{n-1}) \beta_n \frac{\eta_n}{\sigma_{n-1}} \sum_{i=1}^{n-1} G_i , \quad (1)$$

где σ_{n-1} – плотность упаковки зерен в смеси, состоящей из $n - 1$ фракций; η_n – плотность упаковки зерен каждой узкой фракции, $\eta_1 = \sigma_1$; β_n – коэффициент раздвижки зерен в смеси, состоящей из $n - 1$ фракций, зернами вводимой очередной мелкой фракции.

В простейшем случае выражения для β_n принимают вид:

$\beta_n = 1$ – для жестких зернистых смесей; $\beta_n = \sigma_{n-1} / \eta_n$ – для подвижных зернистых смесей; для умеренно-подвижных и увлажненных смесей

$$\beta_n = \left(\frac{\sigma_{n-1}}{\eta_n} \right)^{\frac{1}{n-1}}.$$

Для дисперсных систем и композитов, в которых необходим пониженный расход мелких фракций с целью снижения удельной поверхности, выражение для β_n можно принять в следующем виде:

$$\left(\frac{\sigma_{n-1}}{\eta_n} \right)^{\sqrt[3]{\theta_n^m}} \geq \beta_n \geq \left(\frac{\sigma_{n-1}}{\eta_n} \right)^{\sqrt[3]{\delta_n^m}},$$

где $1 \leq \beta_n \leq 1,1$; θ_n^m , δ_n^m – переменные для каждого класса m систем неоднородности распределения зерен в соответствующих им пустотах (см. ниже).

Выражение (1) с учетом одного из выражений для β_n будет иметь вид

$$G_i = (1 - \sigma_{n-1}) \left(\frac{\sigma_{n-1}}{\eta_n} \right)^{\sqrt[3]{\theta_n^m}} \sum_{i=1}^{n-1} G_i. \quad (2)$$

При введении каждой очередной фракции в смесь, состоящей из $n - 1$ фракций, экспериментально определяют плотность упаковки σ_{n-1} зерен в смеси для расчета количества каждой последующей фракции и плотности упаковки.

4. Расчет плотности упаковки зерен в смеси, состоящей из $n - 1$ фракций.

В основу расчета заложен принцип бимодальных упаковок для каждого класса m прерывистости в размерах зерен смеси. Количество таких бимодальных связей будет равно $n(n - 1)/2$, где n – число фракций в смеси, в том числе и вводимой очередной фракции:

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} + \frac{1 - \sigma_{n-1}}{\beta_n} X_n, \quad (3)$$

где X_n – степень заполнения свободного объема в зернистом слое при введении очередной фракции; определяется вероятностью распределения зерен в имеющихся пустотах между ними:

$$X_n = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \Psi_{i,j}^m}{n(n-1)/2}. \quad (4)$$

Значение $\psi_{i,j}^m$ для бимодальных упаковок в зависимости от m и d_n/d_1 приведены в табл. 1.

Список литературы:

1. *Лесовик, Р. В.* Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сборных элементов конструкций / Р.В. Лесовик, А.В. Клюев, С.В. Клюев // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – Ч.3. – С. 140–143.
2. *Хархардин, А. Н.* Структурная топология дисперсных систем: учеб. пособие / А.Н. Хархардин. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. – 128 с.
3. *Хархардин, А. Н.* Топологическое состояние и свойства композиционных материалов / А.Н. Хархардин // Известия ВУЗов. Строительство. – Новосибирск, 1997. – № 4. – С. 72–77.

ВНЕШНЕЕ АРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА

**Клюев С.В., канд. техн. наук, доцент,
Лесовик Р.В., д-р техн. наук, профессор**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Усиление и восстановление железобетонных армированных конструкций с применением прогрессивных композиционных материалов в настоящее время получает широкое распространение. Это обусловлено наличием у данных материалов таких преимущественных свойств, как легкость, высокая прочность, коррозионная устойчивость, простота производства.

Растет необходимость разработки композиций для новых инфраструктурных систем, что позволит вести более длительную эксплуатацию и вносить меньшие затраты на ремонт. В целом, железобетонные конструкции нуждаются в усилении по причине их повреждения, например вследствие коррозии арматуры, а также недочетов и ошибок в проектировании и конструировании, изменений в функциональном назначении или нагружении, либо несоблюдения строительных норм и правил.

Сфера использования железобетонных конструкций в России в настоящий момент весьма широка. В то же время многие сооружения меняют свое функциональное назначение. Это приводит к необходимости производить и проектировать более экономичные, легкие, надежные и долговечные конструкции. Увеличиваются перекрываемые пролеты, высота зданий и сооружений и традиционные материалы не в состоянии решить весь комплекс поставленных задач. Использование композиционных материалов в состоянии разрешить данные проблемы. Выяснилось, что среди них существуют такие, которые имеют широкий спектр применения: это в первую очередь полимеры, армированные волокнами, среди которых наиболее распространены углеродные волокна и стекловолокно [2 – 4].

Восстановление железобетонных конструкций связано с решением ряда проблем:

- остановки коррозии арматуры и бетона;
- восстановление сечения конструкции;

- устройства дополнительного армирования с целью компенсации потерь прокорродировавшей арматуры, а так же из-за увеличения действующих нагрузок;

- обеспечение защиты конструкций от вредного воздействия внешней среды.

Используемые для ремонта и усиления конструкций композитные материалы на базе углеродных волокон можно подразделить на две группы – формируемые непосредственно при производстве работ на строительном объекте и заводского изготовления. На рис. 1 представлена ткань, применяемая для внешнего армирования.

Успех применения композитных материалов для усиления строительных конструкций зависит не только от выбора эффективных композитов, но в значительной мере, от разрешения проблем совместности их работы с восстанавливаемой или усиливаемой конструкцией. Это связано с выбором материалов и технологий для ремонта деструктивной поверхности железобетона, обеспечивающих их высокую адгезию в подложке. Этот ремонтный слой, в свою очередь, должен быть надежным основанием для приклейки усиливающих композитных материалов и работать с ними совместно. Подготовка железобетонной конструкции к ремонту и последующему усилению должна включать мероприятия по блокированию коррозии арматуры, которая, как правило, развивается при первых признаках деструкции. Без этого, образующиеся продукты коррозии будут отрывать защитный слой из ремонтных материалов, что сведет на нет работы по наклейке композитов.

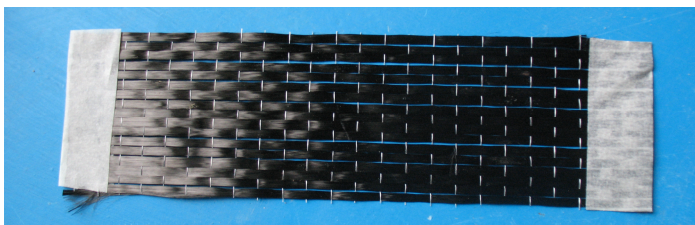


Рис. 1. Углеродная однонаправленная ткань

Система внешнего армирования предусматривает использование материалов и технологии ремонта, обеспечивающих остановку и предотвращение дальнейшего развития коррозии арматуры и бетона, надежное сцепление ремонтных составов со старым бетоном, повышенную водонепроницаемость, морозостойкость и химическую

стойкость. К числу таких материалов относятся: пенетрирующие ингибиторы коррозии арматуры; специальные латексные эмульсии для повышения сцепления со старым бетоном; полимерцементные сухие смеси с быстрым набором прочности; защитные покрытия для предотвращения проникновения ионов хлора; низковязкие эпоксидные составы для ремонта трещин и специальные эпоксидные компаунды для ремонта конструкций в условиях повышенной влажности и под водой.

В систему ремонта входит также усиление конструкций. Усиление конструкций осуществляется путем внешнего армирования особо высокопрочными тканями из углеродных и специальных стеклянных волокон на эпоксидном связующем. Армирующие элементы создаются наклейкой соответствующих тканей на отремонтированную поверхность специальными эпоксидными составами, обеспечивающими надежное сцепление с бетоном и ремонтными материалами.

Проведенные экспериментальные исследования связаны с изучением поведения бетонных элементов усиленных композиционными материалами на растяжении при изгибе.

Для изготовления бетонных образцов применялся товарный цемент ЗАО «Белгородский цемент» Цем I 42,5Н, отходы мокрой магнитной сепарации (отходы ММС) и суперпластификатор [1, 2].

В качестве связующего, для внешнего армирования бетонной призмы, был использован клей эпоксидный марки ЭДП (ТУ 2385 – 012–54804491–2002), изготовленный из эпоксидной смолы ЭД-20. Клей предназначен для приклеивания углеродной ткани на бетонный образец. Соотношение между углеродной тканью и эпоксидным клеем 60 : 40. Испытывались призмы с размерами 100×100×400 мм (рис. 2).



Рис. 2. Усиленная призма углеродной тканью

На рис. 3. представлен характер разрушения бетонных призм. В табл. 1 представлены результаты испытания бетонных призм.



Рис. 3. Характер разрушения бетонных призм:
а) усиленной; б) не усиленной

Таблица 1

Результаты испытаний на сжатие бетонных призм, усиленных углепластиком

Количество слоев	Предел прочности, МПа	Прирост прочности, %
0	12,4	–
1	24,8	200
2	29,3	236,3
3	31,6	254,8

Экспериментальная оценка показывает достаточно высокие результаты при использовании композитов на основе углеволокна. Испытания показывают нелинейное увеличение прочности усиленных образцов в зависимости от количества наклеенных слоев углеродных лент. Изменяется характер разрушения бетона, поскольку он работает совместно с косвенной внешней арматурой (рис. 5, а). При использовании косвенного армирования напряженное состояние бетона подобно трехосному сжатию, что позволяет усиленному образцу воспринимать более высокую нагрузку по сравнению с контрольными образцами.

Список литературы:

1. *Клюев, А. В.* Отходы горнодобывающих предприятий как сырье для производства мелкозернистого бетона армированного фибрами [текст] / А.В. Клюев, С.В. Клюев, Р.В. Лесовик, О.Н. Михайлова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 4. – С. 81–84.
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. *Хаютин, Ю. Г.* Повышение надежности железобетонных конструкций при ЧС (зарубежный опыт) [Текст] / Ю.Г. Хаютин, В.Л. Чернявский // Высотные здания. – 2007. – №3.
4. *Чернявский, В. Л.* Усиление железобетонных конструкций композитными материалами [Текст] / В.Л. Чернявский, Е.З. Аксельрод // Жилищное строительство. – 2003. – № 3. – С. 15–16.

ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫЙ БЕТОН ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫМ ВОЛОКНОМ

**Клюев С.В., канд. техн. наук, доцент,
Лесовик Р.В., д-р техн. наук, профессор**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время сфера использования железобетонных конструкций в России значительно расширяется. Многие здания и сооружения меняют свое функциональное назначение. Применение композиционных материалов способны разрешить данные проблемы [3].

Использование дисперсно-армированных цементных композиций позволяет выпускать облегченные строительные конструкции с повышенной прочностью на изгиб и ударной вязкостью. Выбор волокна обуславливается тем, какими свойствами должна обладать композиция для удовлетворения заданным требованиям.

Существуют многочисленные разновидности изделий из фибробетона, которые находят разнообразное применение. Использование полипропиленовых волокон позволяет получить экономии за счет сокращения размеров сечений. Изучение возможности замены полипропиленовым волокном других волокон в бетоне показало, что получаемый прочный и легкий композит с высокой вязкостью разрушения представляется весьма перспективным.

В последние годы на практике очень часто имеют место случаи, когда в районе строительства отсутствуют качественные крупные заполнители. Транспортировка щебня из других регионов часто на значительные расстояния, становится экономически не оправданной. В этом случае встает вопрос о целесообразности применения местных материалов, в том числе, песков и отходов горно-обогатительной промышленности в качестве заполнителей бетонов.

В настоящее время нерудная, горнорудная и другие отрасли ежегодно складировуют в отвалах сотни миллионов кубометров рыхлых отходов различного состава и строения, которые имеют размер зерен до 10 мм. Одной из причин неполного использования этих отходов в качестве мелких заполнителей бетонов является отсутствие их классификации, недостаточная изученность их характеристик и свойств бетонных смесей и бетонов на их основе.

Свойства техногенных песков, бетонных смесей и бетонов на их основе зависят от многих факторов, обусловленных свойствами исходных пород, способами их измельчения и методами обогащения полученного продукта и т.д. Наиболее существенное влияние оказывают прочность, структура и состав исходных пород.

При сопоставлении свойств природных и искусственных песков обращают на себя внимание основные, принципиальные различия этих материалов. Если первые являются в основном кварцевыми, с округлой формой зерен и гладкой поверхностью, то вторые имеют существенные различия по составу и свойствам исходных пород, форме зерен и шероховатости их поверхности. Искусственные пески имеют свежееобнаженную поверхность. В результате свойства последних различны. Взаимодействие поверхности техногенных песков с цементным тестом и цементным камнем значительно сложнее, чем у природных песков. Без учета этого взаимодействия невозможно изучить влияние гранулометрического состава, формы зерен, шероховатости поверхности и других характеристик песка на свойства смесей и бетонов [1, 2].

Для оценки возможности применения техногенных песков как сырья для производства фибробетона, были разработаны составы мелкозернистого бетона с использованием в качестве заполнителя отсева дробления кварцитопесчаника. Для получения более плотной упаковки заполнителя использовался песок Нижнее-Ольшанского месторождения.

Экспериментальные исследования связаны с изучением поведения бетонных элементов, дисперсно-армированных полипропиленовым волокном, при сжатии и растяжении при изгибе.

Для приготовления высокопрочного мелкозернистого бетона применяют различные способы повышения активности цемента и качества бетонной смеси (домол и виброактивация цемента, виброперемешивание, применение суперпластификаторов).

Большие перспективы в получении высокопрочных бетонов связаны с применением композиционного вяжущего, которое получают совместным помолом высокомарочного цемента и суперпластификатора.

Для его получения применялся товарный цемент ЗАО «Белгородский цемент» Цем I 42,5Н, отходы мокрой магнитной сепарации (отходы ММС) и суперпластификатор.

Производственная практика показала, что армирование цементной матрицы полипропиленовым волокном, обладающим высокой

химической устойчивостью к щелочной среде. Полипропиленовые волокна включаются в бетонные образцы с целью увеличения прочности бетона на сжатие от 10% до 60% и изгибе от 10% до 200%.

Высушенный песок, отсев дробления кварцитопесчанника, композиционное вяжущее и полипропиленовое волокно были смешаны до получения гомогенного состава. Затем добавлялась вода до получения однородной массы. После формования и уплотнения образцы в течение 24 часов находились при температуре не ниже 15°C. Затем были сняты формы и бетонные образцы перенесены в сухое место (камера твердения с температурой 20°C и влажностью более 90%, что соответствует требованиям ГОСТ).

Испытание образцов для определения прочности на сжатие (кубики 100×100×100мм) и на растяжение при изгибе (призмы 100×100×400мм) проводились на универсальной испытательной машине по стандартной методике. Результаты экспериментов представлены в табл.1.

Таблица 1

№ п/п	Состав бетона	Ед. изм.	1 Конт р.	2	3	4
1	Композиционное вяжущее	кг	410	410	410	410
2	Песок	кг	640	640	640	640
3	Отсев КВП	кг	1160	1160	1160	1160
4	Вода	кг	200	200	200	200
5	Полипропиленовая фибра	кг	–	4	6,7	9,3
6	Прочность бетона на растяжение при изгибе на 7 сут.	МПа	10,9	14,7	10,5	10,3
7	Прочность бетона на растяжение при изгибе на 28 сут.	МПа	14,9	20,6	13,8	13,3
8	Прочность бетона на сжатие 28 сут.	МПа	37,7	42,4	40,2	39,6

Анализ результатов экспериментов по изучению влияния различных дозировок полипропиленовых волокон показал, что бетонные образцы имеют различные показатели прочности на сжатие и на растяжение при изгибе. Наилучшие показатели прочности дали образцы, имеющие в составе полипропиленовое волокно в количестве 4 кг. При этом отмечается повышение прочности на сжатие до 13% и на растяжение при изгибе до 38%. С увеличением процента армирования бетонных образцов отмечается снижение прироста прочности на

сжатие, а на растяжение при изгибе прочность образцов становится меньше прочности контрольного образца.

На основе результатов экспериментальных исследований осуществлена оценка эффективности влияния дисперсного армирования мелкозернистого бетона полипропиленовым волокном. Использование полипропиленового волокна более эффективно для повышения прочности мелкозернистого бетона на растяжение при изгибе и рекомендуется ее применение для конструкций, работающих на это воздействие.

Список литературы:

1. *Лесовик, Р. В.* Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках: дисс. ... д-ра техн. наук / Р.В. Лесовик. – Белгород, 2009. – 496 с.
2. *Лесовик, Р. В.* Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сборных элементов конструкций / Р.В. Лесовик, А.В. Ключев, С.В. Ключев // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – Ч. 3. – С. 140–143.
3. *Рабинович, Ф. Н.* Дисперсно армированные бетоны / Ф.Н. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1989. – 174 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО СДВИГА ПОКРЫТИЯ ОТ ВОЗДУШНОГО СУДНА

**Князев А.В.,
Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доцент**
Военный авиационный инженерный университет

Аэродромные покрытия испытывают различные нагрузки в период своей эксплуатации и одной из них является динамическая нагрузка от воздействия колес воздушных судов. Расчет динамической нагрузки многослойного покрытия на упругом основании является сложной математической задачей. Наиболее важными при решении этой задачи представляются следующие направления:

- определение прогибов и колебаний многослойных покрытий при подвижной динамической нагрузке;
- расчет и измерение воздействия посадочного удара воздушного судна, а также изменение напряженно-деформированного состояния плиты.

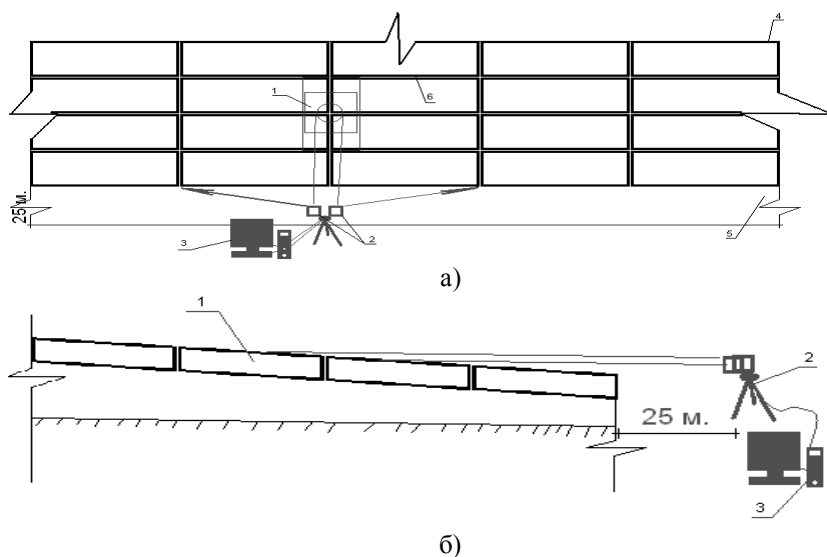
Изучение поведения плит на упругом основании при динамическом воздействии посвящены работы Глушкова Г.И., Спицына А.П., Назарова В.И. и ряда других авторов [1]. В них рассматривались как подвижные, так и неподвижные нагрузки, а плита покрытия – только как одномассовая система.

Авторы рассмотрели некоторые случаи поведения многослойного покрытия под воздействием динамической нагрузки с введением ряда ограничений. При этом во всех работах при математическом моделировании не делается различий между плитой с дефектом и без него, а рассматривается так называемая эталонная плита. Так же не принимается в расчет экскурсия деформационных швов и не рассматривается сдвиг плит. Но именно под их воздействием зачастую происходят предельные напряжения, ведущие к трещинам и сколам плит на краевых участках.

Авторы данной статьи предлагают рассмотреть работу жесткого аэродромного покрытия на примере покрытия из плит ПАГ-14 с применением методов видеометрии. Для этого разработана установка, состоящая из двух высокоскоростных камер, которые позволяют снимать со скоростью до 1000 кадров в секунду, что позволяет в реальном масштабе времени производить замеры прогибов с точностью до 0,05 мм и горизонтального сдвига с точностью до 0,1 мм. Большая частота кадров позволяет регистрировать процессы, характерные для

деформаций бетонных изделий в диапазоне частот 0,1-100 Гц. Возможность получения спектральных характеристик деформаций под воздействием движущегося воздушного судна позволяет определить сложное сочетание волновых процессов, генерируемых колесом. Это позволяет выявить упругие деформации основания, колебательные процессы самой плиты, а также впервые наблюдать сдвиговую деформацию, как самой плиты, так и группы плит под воздействием движущейся нагрузки. Измерения осуществляются посредством временного ряда изображений, полученных с камер и обрабатываемых программой, написанной в математическом пакете MATLAB и SIMULINK.

Обеспечение проведения экспериментальных исследований выполнено на аэродроме «Воронеж Б», где выбраны области старто-финишных участков, на которых устанавливались регистрирующие устройства. Схема размещения на одном из таких участков показана на рисунке 1.



1-область плит ПАГ-14; 2-установка с камерами; 3-ПЭВМ; 4-ИВПП; 5-БПБ; 6-шов

Рисунок 1 – Размещение установки на летном поле

При данном размещении мы не нарушаем требования, предъявляемые к безопасности полетов, и получаем качественное, четкое изображение. Особенностью размещения установки является возможность визуального наблюдения за процессом движения воздушного судна по данному участку. Зная скорость съемки камеры, скорость движения самолета, геометрические размеры плиты ПАГ-14 и, принимая ширину деформационного шва до 4 см., мы можем рассчитать время прохождения воздушного судна по плите и шву и, соответственно, количество кадров для регистрации процесса и представленные в таблице ниже.

Таблица - Время проезда и количество кадров в зависимости от скорости воздушного судна

Место прохождения	Время проезда и количество кадров в зависимости от скорости воздушного судна				
	180 км/ч (50 м/с)	225 км/ч (62,5 м/с)	270 км/ч (75 м/с)	315 км/ч (87,5 м/с)	360 км/ч (100 м/с)
ПАГ-14 (6 м)	0,12 с	0,096 с	0,08 с	0,0686 с	0,06 с
Камера (1000 к/с)	120 кадр	96 кадр	80 кадр	68 кадр	60 кадр
Камера (60 к/с)	7,2 кадр	5,8 кадр	4,8 кадр	4,1 кадр	3,6 кадр
Шов (0,04 м)	0,0008 с	0,00064 с	0,00053 с	0,00046 с	0,0004 с
Камера (1000 к/с)	~ 1 к	< 1 к	< 1 к	< 1 к	< 1 к

Как видно из таблицы, время проезда по плитам ПАГ является достаточным для регистрации процессов с получением нужного количества кадров и дальнейшего его описания. Для описания проезда по шву требуется направить обе камеры на него и сделать несколько снимков.

Исследуя данные, обработанные программой, можно измерить прогиб и горизонтальный сдвиг покрытия, возникающего от воздействия воздушного судна. Точность измерения сдвига, полученная в результате проведенных исследований, составила порядка 0,01 мм, это позволило определить временную зависимость деформации и оценить качество аэродромного покрытия.

Список литературы:

1. *Кульчицкий, В. А.* Аэродромные покрытия. Современный взгляд / В.А. Кульчицкий, В.А. Макагонов, Н.Б. Васильев, А.Н.Чеков, Н.И. Романков. — М., 2002. — 528 с.

НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧЬЮ ДЛЯ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Копылов А.С.,
Магергут В.З., д-р техн. наук, профессор
Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова

Важнейшую роль в производстве цемента по «мокрому» способу играет обжиг клинкера. На него приходится основная доля энергетических затрат. Обжиг производится во вращающихся печах. Уровень автоматизации на существующих вращающихся печах для обжига является низким, контроль за состоянием печи и ее управление ведется по устаревшим аналоговым приборам.

Создание систем нечеткого управления является возможным подходом к решению задач по управлению вращающейся цементной печью, как сложного нелинейного, распределенного объекта, характеризующегося неполнотой и нечеткостью информации о его работе.

Выделим важные технологические величины и управляющие воздействия, которые характеризуют работу печи, а также влияют на ее поведение (рис. 1).

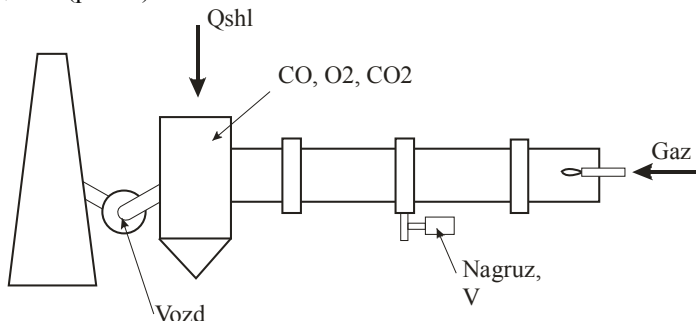


Рис. 1. Схема вращающейся печи с основными технологическими величинами

Определим управляющие и управляемые переменные для объекта управления – вращающаяся печь:

Управляющие воздействия для объекта управления:

- Gaz – уровень подачи топлива на горелку, %;

- $Vozd$ – уровень подачи воздуха на печь, определяется как процент открытия заслонки вентилятора аспирации, %;

- V – скорость вращения печи (в виде номера передаточного числа редуктора двигателя, вращающего печь);

- $Nagruz$ – нагрузка на главном приводе печи, %.

Управляемые переменные:

- CO_2 – объемная доля двуокиси углерода в отходящих газах, измеряемая в пылесадительной камере, %;

- CO – объемная доля окиси углерода в отходящих газах, измеряемая в пылесадительной камере, %;

- O_2 – объемная доля кислорода в отходящих газах, измеряемая в пылесадительной камере, %;

- $Qshl$ – расход шлама, подаваемого для обжига в печь, m^3 .

На основании положений изложенных в [1] была создана схема нечеткого управления вращающейся печью, представленная на рис. 2.

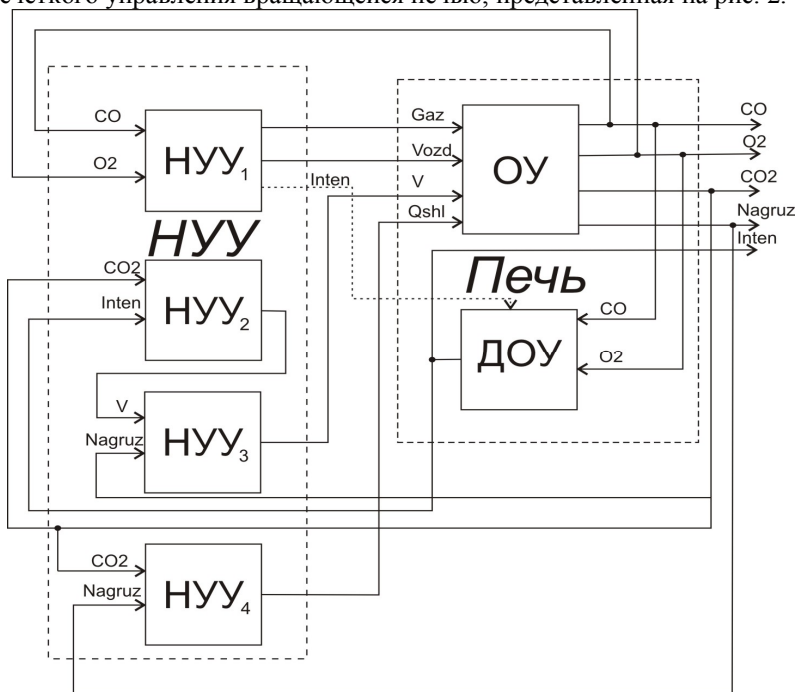


Рис. 2. Схема нечеткого управления печью

Управление печью осуществляют четыре нечетких устройства управления (НУУ). Первое нечеткое устройство управления (НУУ₁) управляет подачей газа и воздуха на печь в зависимости от нечеткой базы правил по *CO* и *O2*. Второе – НУУ₂ управляет скоростью печи по нечеткой базе правил по *CO2* и новому фактору – интенсивности сжигания газа (*Inten*). Третье – НУУ₃ выполняет корректировку скорости вращения печи, в зависимости от нагрузки на главном приводе печи (*Nagruz*). Четвертое – НУУ₄ управляет подачей шлама на печь по нечеткой базе правил по *CO2* и нагрузке на главном приводе печи (*Nagruz*).

Чтобы добиться от системы управления хороших количественных показателей для каждого конкретного объекта необходимо подобрать соответствующие функции принадлежности (ФП). Задача подбора функций принадлежности состоит в нахождении параметров для функции выбранного вида. В нашем случае, для вида ФП возьмем функцию Гаусса $f(x) = e^{-\frac{(x-\gamma)^2}{2\nu^2}}$. Для нахождения параметров γ и ν используем нейронные сети.

Рассмотрим соответствующую методику на примере НУУ₄ (рис. 3).

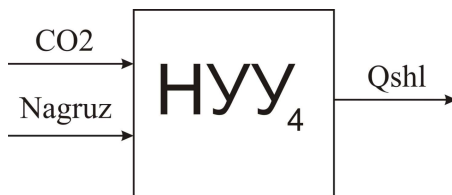


Рис. 3. Нечеткое устройство управления 4

НУУ₄ управляет расходом шлама *Qshl*, по нагрузке на приводе печи *Nagruz* и объемному содержанию двуокси углерода *CO2* в отходящих газах.

Каждая лингвистическая переменная может принимать три значения:

- Z – низкий;
- PS – нормальное;
- PB – высокий.

Вначале ФП будут иметь произвольные параметры γ и ν (рис. 4). Затем в ходе работы сети эти параметры будут подбираться (адаптироваться).

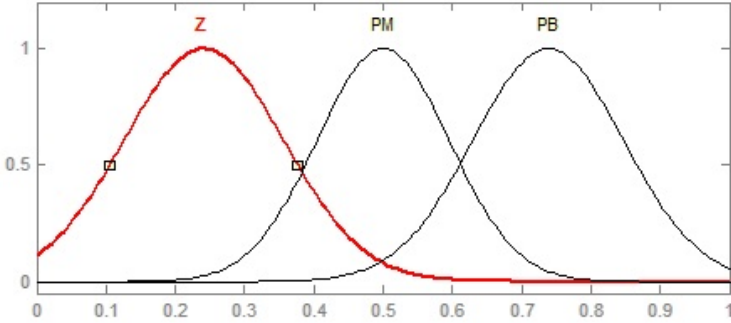


Рис. 4. Функции принадлежности

Мы имеем 9 нечетких правил, которые формально можно будет записать в следующем виде:

R1 : CO2 is **Z1** and Nagruz is **Z2** then Qshl2 is **PB3**

R2 : CO2 is **Z1** and Nagruz is **PM2** then Qshl is **PM3**

...

R9 : CO2 is **PB1** and Nagruz is **PB2** then Qshl is **Z3**

Из статистических данных по работе печи можно взять точные количественные значения, соответствующие друг другу в определенный момент времени: $CO_2 = a_1$; $Nagruz = a_2$; $Qshl = a_3$.

Определим уровни активации для каждого из правил:

$$\alpha_1 = \min(Z_1(a_1), Z_2(a_2), PB_3(a_3));$$

...

$$\alpha_9 = \min(PB_1(a_1), PB_2(a_2), Z_3(a_3)).$$

Теперь можно вычислить количественные оценки для расхода шлама, даваемые каждым из наших правил:

$$z_1 = f^{-1}(\alpha_1) = \gamma_1 + \nu_1 \sqrt{-2\nu \ln(\alpha_1)}$$

...

$$z_9 = f^{-1}(\alpha_9) = \gamma_9 + \nu_9 \sqrt{-2\nu \ln(\alpha_9)}$$

Оценка величины расхода шлама получается усреднением вышеприведенных оценок по уровням активации каждого из правил:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \dots + \alpha_9 z_9}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_9}$$

Построим нейронную сеть [2], эквивалентную описанной выше нечеткой системе (рис. 5).

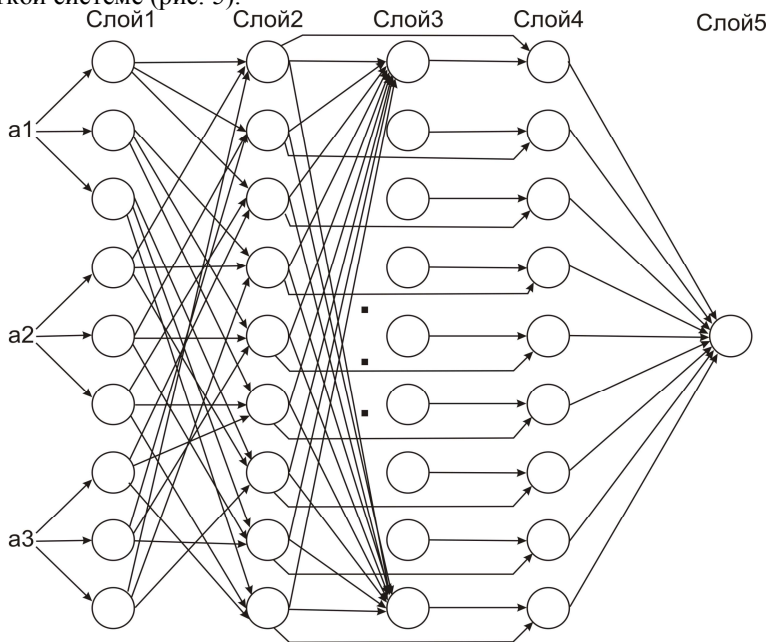


Рис. 5. Нейронная сеть

Входами нейронной сети являются лингвистические переменные, выходом – четкое значение величины расхода шлама. Скрытые слои являются слоями правил.

Значения выходов в узлах первого слоя отражают степень соответствия входных значений лингвистическим переменным, связанным с этими узлами. Элементы второго слоя вычисляют значения уровней активации соответствующих нечетких правил. Выходные значения нейронов третьего слоя соответствуют нормированным значениям этих уровней активации $c_i = \alpha_i / \sum_{i=1}^9 \alpha_i$. Выходные значения нейронов четвертого слоя вычисляются как произведения

нормированных значений уровней активации правил на значения величины расхода шлама, соответствующего данной их (ненормированной) активации $c_i z_i$. Выходной нейрон пятого слоя просто суммирует воздействия нейронов предыдущего слоя.

Имея набор обучающих пар, содержащих точные значения для концентрации CO_2 , нагрузки на главном приводе печи и расхода шлама : $y_k : \{(x_1, y_1), \dots, (x_k, y_k)\}$, можно определить ошибку сети для k -ой

обучающей пары $E_k = \frac{1}{2}(y_k - o_k)^2$, где o_k – реальное значение состояния выходного нейрона. Для определения параметров функции принадлежности используем метод градиентного спуска:

$$\gamma(t+1) = \gamma(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial \gamma}; \quad \nu(t+1) = \nu(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial \nu}.$$

Адаптация функций принадлежности с использованием нейронной сети позволяет переносить, созданную нечеткую систему управления с одной печи на другую, имеющую другие особенности работы, без существенных затрат на доработку системы.

В дальнейшем планируется добавить обучение нейронной сети без обучающих пар, что позволит системе управления адаптироваться под изменяющиеся условия работы конкретной печи, такие как например, изменение состава шлама, качества топлива и др.

Список литературы:

1. Нечеткое управление вращающейся печью для обжига цементного клинкера // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24 [текст]: сб. Трудов XXIV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т. 6. Секция 6,7 / под общ. ред. В.С. Балакирева. – Киев: Национ. техн. ун-т Украины «КПИ», 2011. – С. 28-29.
2. Нечеткие множества и нейронные сети: Учебное пособие / Г.Э. Яхьяева. – М: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория Знаний, 2006. – 316 с.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ

Котлярский Э.В., канд. техн. наук, профессор

*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет*

Гридчин А.М., д-р техн. наук, профессор

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

Композиционные материалы на основе органических вяжущих, в частности асфальтобетонные смеси и асфальтовый бетон, используемые для устройства дорожных покрытий нежесткого типа, представляют собой высококонцентрированные дисперсные системы. Они характеризуются сильно развитой межфазной поверхностью $S_{уд}$ и высокой концентрацией дисперсной фазы ϕ в жидкой и газовой дисперсионных средах. Это в первую очередь характерно для смесей при перемешивании и на начальной технологической стадии уплотнения конструктивных асфальтобетонных слоев.

Изменение соотношения компонентов (составов) и их качественного состояния в контактных (межфазных) и пограничных слоях приводит к изменению структурных связей в асфальтобетоне и как следствие его физико-механических характеристик при работе в дорожной конструкции.

Установлено, что структура асфальтобетона определяется количеством и качеством минеральных составляющих, их взаимным расположением и характером связей между ними. Это согласуется с теорией строительных конгломератов И.А. Рыбьева и полиструктурной теорией В.П. Селятина.

Аддитивные свойства асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов определяются макро- и мезо-, и, в особенности, микроструктурой. Следовательно, создание оптимальных условий для формирования микроструктурных контактных связей может в значительной мере способствовать образованию смесей необходимыми технологическими свойствами, а асфальтобетона с требуемыми транспортно-эксплуатационными показателями.

Применительно к дорожному асфальтобетону и асфальтобетонным смесям до последнего времени не было предложено количественных

критериев оценки, характеризующих состояние структуры материала, как в процессе структурообразования на технологическом этапе, так при работе в конструктивном слое дорожной одежды при воздействии различных эксплуатационных факторов. Эта задача может быть решена с использованием основных положений физико-химической механики высококонцентрированных дисперсных систем с учетом специфики контактных взаимодействий.

Наиболее существенное значение в технологии приготовления асфальтобетонной смеси имеют сложные физико-химические процессы, протекающие при взаимодействии битума с поверхностью зерен минеральных составляющих асфальтобетона и в первую очередь с тонкодисперсными частицами минерального порошка.

В различных технологических и эксплуатационных ситуациях асфальтобетонные смеси и асфальтобетон необходимо рассматривать как высококонцентрированные дисперсные системы, свойства которых во многом зависят от физико-химических процессов, происходящих при их структурообразовании. Оценка этих процессов надо производить с учетом основных законов физико-химической механики и специфики формирования элементарных контактов. Направленное управление свойствами асфальтобетона можно производить путем регулирования свойств вяжущего в зоне межфазного контакта.

На основании работ П.А. Ребиндера, Е.Д. Щукина, Л.Я. Марголис использовалась зависимость прочности пористых тел, учитывающая аддитивность прочности элементарных контактов:

$$P_m = k_1 \cdot F_c \cdot n^{2/3} = k_2 \cdot \varphi \cdot S_{уд}^2 = k_3 \cdot F_c \cdot \varphi \cdot d_{экс}^2 \quad (1)$$

где: P_m – предельное напряжение сдвига, F_c – средняя сила сцепления в контакте между частицами, n – среднее число контактов между частицами в единице объема (m^3), φ – относительная плотность структуры, $S_{уд}$ – удельная поверхность частиц дисперсной фазы высококонцентрированной дисперсной системы, d_i – характерный размер этих частиц.

Предельное напряжение сдвига P_m можно количественно определять различными экспериментальными методами.

Для определения среднего числа контактов между дисперсными частицами в единице объема использовалось эмпирическое выражение, полученное в соавторстве с Н.Б. Урьевым, В.Н. Финашиным и В.Е. Черномазом:

$$n = 6.7373 \cdot 10^{10} \cdot e^{(5.44 \cdot \varphi_i)} \cdot d_{\text{экв}}^2 \quad (2)$$

где: n - среднее число контактов между частицами в единице объема, φ_i - относительная плотность уплотненной (уплотняемой) асфальтобетонной смеси, e - основание натуральных логарифмов, $d_{\text{экв}}$ - характерный размер частиц минеральной части асфальтобетонной смеси.

Различные варианты теории прочности пористых тел были предложены в работах Е.Д. Яхнина, А.Ф. Полака, Н.Б. Урьева, А.А., Потанина и др. Сложность установления функциональной зависимости P_m от F_c и n состоит в том, что она была обоснована и экспериментально подтверждена для модельных систем по полученным с использованием монодисперсных мономинеральных сферических частиц. В реальных асфальтобетонных смесях необходимо учитывать полидисперсность и полиминеральность минеральных частиц случайной неправильной формы.

Средняя сила сцепления в контакте между частицами (F_c) определялась по экспериментально полученным значениям предельного напряжения сдвига и известным геометрическим параметрам исследуемой дисперсной системы расчетным путем по преобразованной формуле проф. Е.Д. Яхнина:

$$F_c = P_m \cdot d_{\text{экв}}^2 \cdot \rho' \cdot \frac{(\rho - \rho_i) \cdot (\rho - \rho_p)}{\rho^2 (\rho_i - \rho_p)} \quad (3)$$

где: ρ' - плотность минеральной части асфальтобетона, кг/м^3 , ρ - плотность асфальтобетона, ρ_i - достигнутая в результате технологических воздействий плотность асфальтобетона, кг/м^3 , ρ_p - средняя плотность неуплотненной асфальтобетонной смеси, кг/м^3 , которая определяется экспериментально и зависит от средней плотности исходных компонентов, входящих в состав асфальтобетонной смеси и их весового соотношения, $d_{\text{экв}}$ - эквивалентный размер частиц минеральной части асфальтобетонной смеси.

$$\varphi = \frac{\rho_i}{\rho} \quad \varphi = \frac{\rho_p}{\rho}$$

Учитывая, что φ и ρ выражение (3) может быть представлено в виде:

$$F_c = P_m \cdot d_{\text{экв}}^2 \cdot \rho' \cdot \frac{\rho' \cdot (1 - \varphi_i) \cdot (1 - \varphi_p)}{\rho_n \cdot (\varphi_i - \varphi_p)} \quad (4)$$

где: φ_i – относительная плотность достигнутая в результате технологических воздействий на асфальтобетонную смесь, φ_p – то же абсолютно рыхлой.

Средняя площадь единичного контакта находится из условия аддитивности прочности элементарных контактов дисперсной системы (1). В этом случае средняя площадь единичного контакта (S_i) при их общем числе n равна: факторов, которые не поддаются прямому количественному учету. Для упрощения принято, что коагуляционный контакт между частицами происходит по круговой поверхности, тогда размер (или средний диаметр) единичного элементарного контакта будет равен:

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_i}{\pi}} \quad (6)$$

Средняя прочность единичного контакта (P_i) находилась из условия:

$$P_i = \frac{F_c}{S_i} = P_m \cdot n^{2/3} \quad (7)$$

Для экспериментальной проверки предложенных теоретических представлений были разработаны методики экспериментальных работ. Экспериментальная оценка структурно-механических параметров производилась для различных асфальтобетонных смесей, с разными исходными компонентами. Варьировались интервалы основных технологических и эксплуатационных факторов.

Для оценки процессов формирования структуры асфальтобетонных смесей на технологическом этапе в лабораторных и опытно-производственных условиях различными методами определялось предельное напряжение сдвига (P_m). Для тонко- и мелкодисперсных модельных составов использовалась ротационная вискозиметрия и коническая пластометрия. Для каркасных составов применялись методики, предложенные в разное время Г.Н. Кирюхиным, Б.Н. Никольским, В.М. Гоглидзе, штамповые и стандартные методы. Это позволило определить значения, F_c , n , P_i , d_i .

Экспериментальные исследования процесса формирования асфальтобетонных смесей, полученные в лаборатории кафедры дорожно-строительных материалов МАДИ, позволили установить, что наиболее весомыми технологическими параметрами являются температура уплотнения, интенсивность и время действия

уплотняющей нагрузки.

С возрастанием уплотняющей нагрузки от 10 до 80 МПа наблюдается монотонное убывание пористости, водонасыщения и рост плотности. Происходит монотонное увеличение среднего числа контактов между частицами в единице объема, одновременно примерно в 2 - 2,5 раза снижается раз средний размер единичного контакта. Прочность и динамический модуль упругости сначала растет, а при достижении уплотняющей нагрузки значений 40-60 МПа начинает снижаться. Более выражено этот характер проявляется у высокопористых бескаркасных смесей, менее - у плотных песчаных и щебенистых уплотненных асфальтобетонных смесей.

При нагрузках 60-80 МПа у щебенистых асфальтобетонных смесей набул наблюдается частичное дробление грубодисперсных каркасных зерен, что коррелируется с результатами, ранее полученными Н.В. Горельшевым.

При всех температурах испытания предельное напряжение сдвига носит экстремальный характер и может изменяться в 1,5 - 2,0 раза. Это связано с условиями формирования макро, мезо и микроструктуры композиционного материала и изменением вязкости объемного и пленочного битума при разных технологических температурах и временных параметрах уплотняющего усилия.

Средняя прочность единичного контакта нагрузках 40-60 МПа так же имеет выраженный экстремум. Снижение контактной прочности при дальнейшем увеличении уплотняющей нагрузки объясняется образованием "обнаженных контактов".

При увеличении температуры уплотнения относительная плотность асфальтобетонной смеси и среднее число контактов между частицами монотонно уменьшается. Средний размер единичных контактов незначительно увеличивается (например, с 4,26 мкм² при 80 °С до 5,20 мкм² при 160 °С).

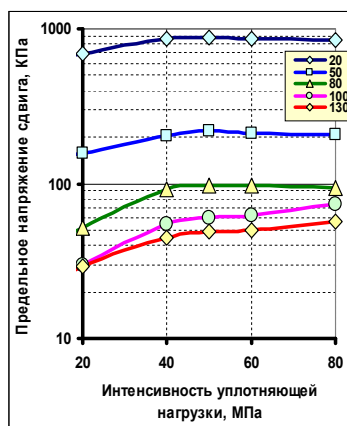
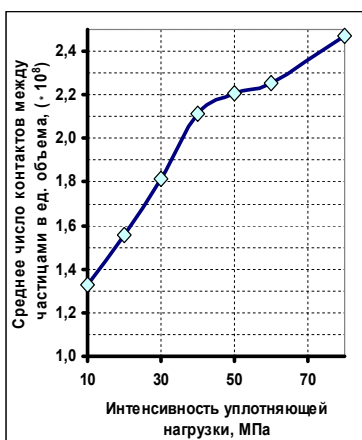
При изменении технологических температур уплотнения происходит экстремальное изменение средней силы сцепления в контакте между частицами более выраженное при высоких температурах испытания (80 - 130 °С).

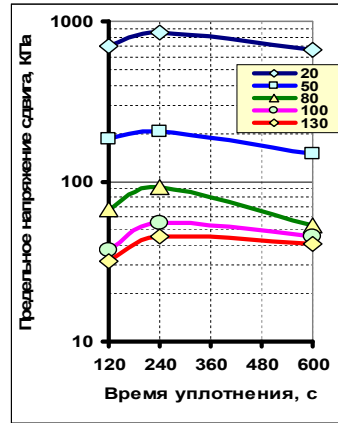
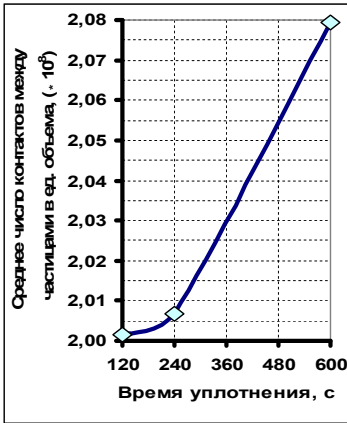
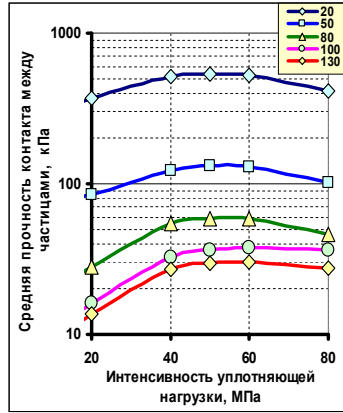
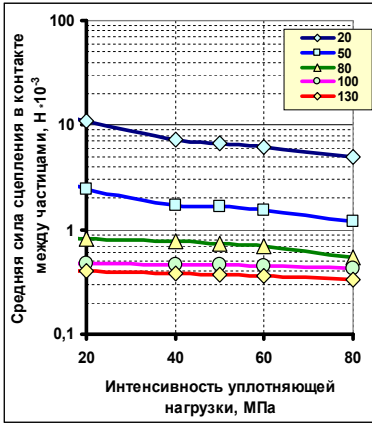
При изменении времени действия уплотняющей нагрузки относительная плотность и среднее число контактов между частицами в единице объема монотонно увеличивается, а средний размер контактов - монотонно уменьшается. Более интенсивно для разных составов и режимов уплотнения это происходит при действии уплотняющей нагрузки в течение 120–300 с.

Изменение предельного напряжения сдвига при разном времени уплотнения также характеризуется экстремумом (при 180-240 с). Более интенсивно P_m увеличивается при времени действия уплотняющей нагрузки до 180 с (в 1,4 -1,8 раза). Аналогично, но с разной интенсивностью, изменяются величины средней силы сцепления в контакте между частицами и средней прочности единичного контакта. Это закономерность характерна в широком интервале температур испытания (от 20 до 130 °С) и скоростей сдвига (от 2,5 до 50,0 мм/мин). Установлено, что уменьшение P_m , F_c и P_i с увеличением времени уплотнения вызвано разрушением коагуляционных контактов, образованием "сухих, обнаженных связей".

С какого-то момента времени уплотнения деструктивные процессы в уплотняемом материале начинают доминировать над структурообразующими.

В результате установлено, что структурообразование асфальтобетона на технологической стадии протекает поэтапно (рис. 4), а оптимальные структуры материала формируются на 2-м этапе.





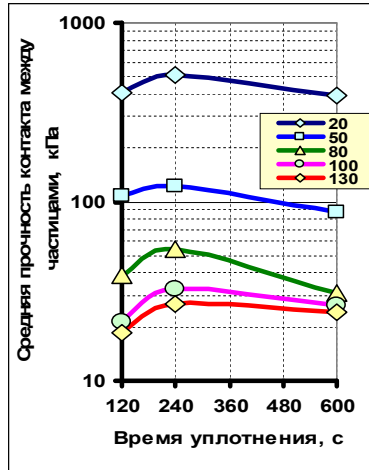
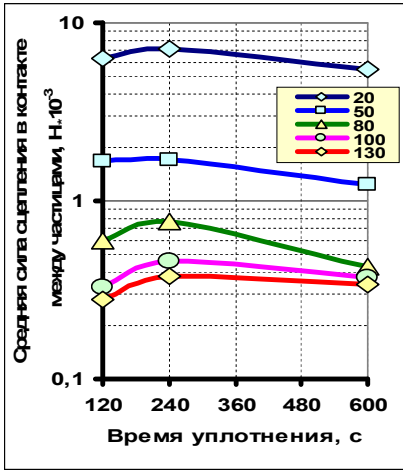
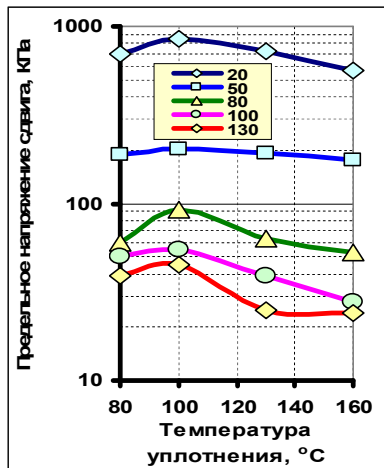
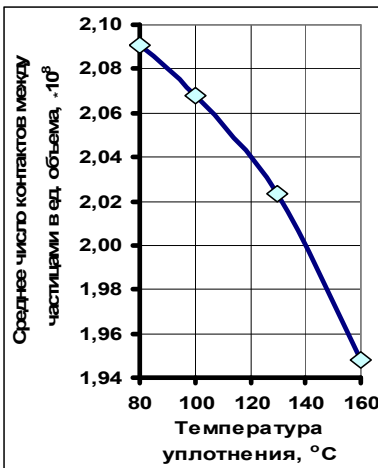


Рис. 1. Изменение структурно-механических параметров асфальтобетона при разной интенсивности и времени действия уплотняющей нагрузки



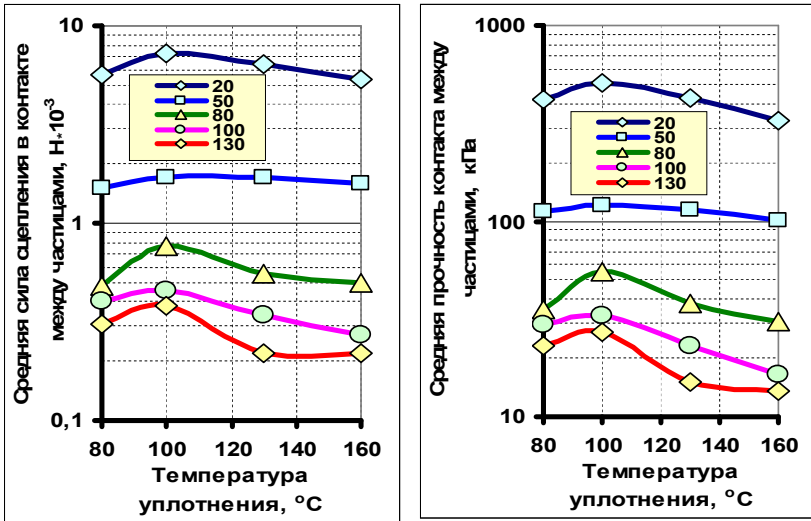


Рис. 2. Изменение структурно-механических параметров асфальтобетона при разной температуре уплотнения

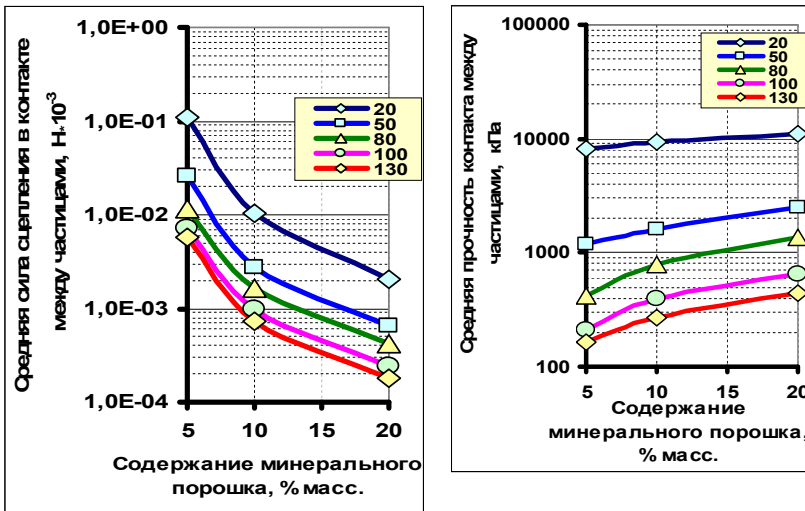


Рис. 3. Изменение структурно-механических параметров асфальтобетона при разном содержании тонкодисперсного заполнителя

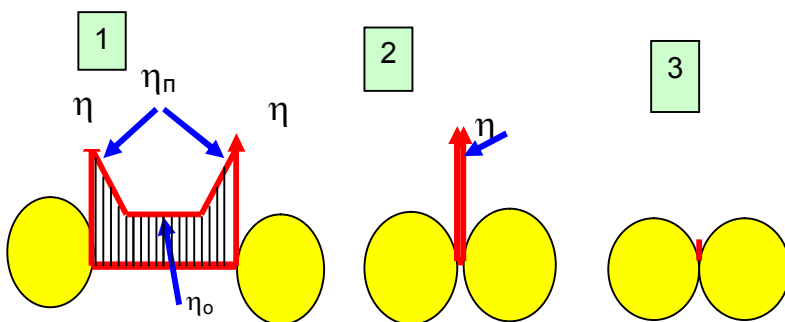


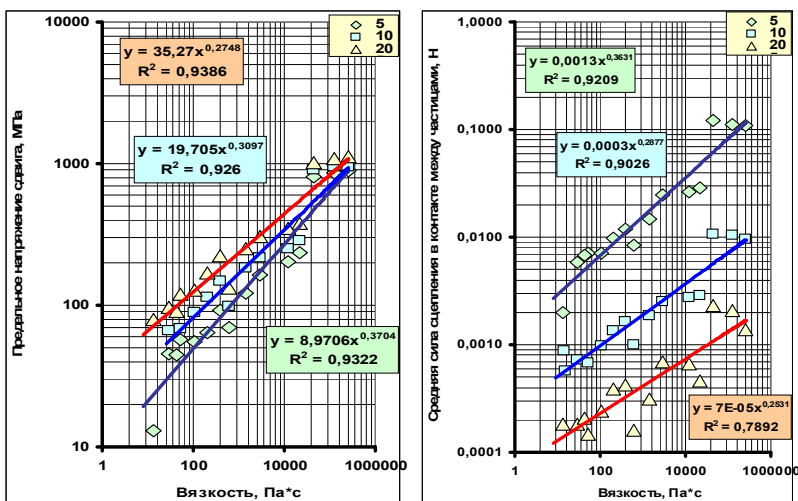
Рис. 4. Этапы структурообразования асфальтобетона при технологических воздействиях

Увеличение в различных составах содержания высокодисперсного заполнителя (в пределах от 5 до 20 % масс.) вызывает монотонное (в 1.1 раза) увеличение плотности. Среднее число контактов между частицами в единице объема при этом возрастает в 1.8 раза, а средний размер контактов между минеральными частицами уменьшается в 2.2 раза. Эти структурные изменения приводят к монотонному увеличению предельного напряжения сдвига, которое в зависимости от температуры.

Сила сцепления в контакте между частицами монотонно снижается в 1,5 – 2,2 раза, что, по нашему мнению, связано с изменением силовых условий структурообразования асфальтобетона (т.е. с увеличением содержания высокодисперсной фазы, при прочих равных условиях, общая уплотняющая нагрузка распределяется на большее число сопротивляющихся изменению структурного состояния элементарных контактов, а на формирование каждого единичного контакта приходится меньшее уплотняющее усилие). Интегральная прочность высококонцентрированной дисперсной системы увеличивается в основном за счет опережающего роста количества контактов. Средняя прочность единичного контакта при всех температурах и скоростях испытания монотонно растет в 1,4 – 3,0 раза. Это обстоятельство хорошо коррелируется с выводами, полученными П.А. Ребиндером, Н.В. Михайловым и С.Я. Шалыт об изменении вязкости битума в приграничной зоне раздела дисперсионной среды и дисперсной фазы и представлениями И.В. Королева о наличии в

структуре асфальтобетона «объемного» и «пленочного» битума.

С увеличением вязкости битума плотность, среднее число контактов в единице объема и средняя площадь единичного контакта в модельных смесях изменяется незначительно. Одновременно установлено, что другие структурно-механические показатели в процессе структурообразования сильно зависят от вязкости битума. Они могут изменяться на 1,5 – 2 порядка (рис. 5). В свою очередь вязкость битума зависит от его марки и градиента сдвига и температуры.



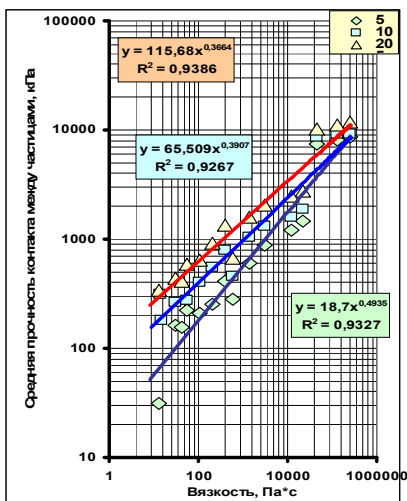


Рис. 5. Построение и статистический анализ однофакторных регрессионных моделей зависимостей предельного напряжения сдвига, средней силы сцепления в контакте между частицами и средней прочности единичного контакта от вязкости битума при различном содержании тонкодисперсного наполнителя

Наглядную качественную картину структурных изменений позволили получить результаты электронно-микроскопических исследований.

В лаборатории электронной микроскопии Института физической химии и электрохимии РАН с помощью электронного сканирующего микроскопа (фирмы "Джеол") были получены микрофотографии элементов структуры уплотненных модельных асфальтобетонных смесей. Для этого образцы подвергались расколу в жидком азоте, что дало возможность получить пробы соответствующего размера, необходимые для электронно-микроскопических исследований на свежем изломе.



Рис. 6. Микрофотографический снимок, полученный на электронном микроскопе «Джэол»

Для каждой серии образцов были получены микрофотографии структуры исследуемых составов. Характерный вид структуры уплотненных асфальтобетонных смесей на электронных микро снимках показан на рис. 6.

Разработанная оригинальная методика обработки предусматривала качественно-количественный анализ микрофотографий полученных для модельных асфальтобетонов различного состава при различных технологических параметрах процесса формирования структуры материала. Наблюдаемые на микрофотографиях структуры характеризовалась размером единичных структурных элементов, их количеством, разбросом и неоднородностью. При анализе эти показатели сравнивались показателями полученных структурно-механических свойств соответствующих серий образцов при различных условиях формирования структуры асфальтобетона.

На микро снимках кроме минеральных частиц и пор хорошо наблюдается еще два элемента структуры асфальтобетона. Это - поверхности минеральных частиц, не покрытые битумом (или "обнаженные поверхности" разрушенные в процессе уплотнения и

появившиеся в результате разлома образцов в жидком азоте) и непосредственно коагуляционные битумные связи.

Наблюдаемый размер обнаженных поверхностей лежит в пределах от 2 до 50 мкм, а коагуляционных контактов в пределах от 2 до 8 мкм.

Установлено, что качественная и количественная оценка результатов электронно-микроскопических исследований четко коррелируется с результатами определения структурно-механических свойств.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны методологические принципы оценки структурно-механических свойств асфальтобетонных смесей и асфальтового бетона, учитывающие свойства и количественное соотношение исходных компонентов, технологические воздействия в процессе формирования смесей, что подтверждено результатами лабораторных экспериментов, электронно-микроскопических исследований и опытно-производственных работ.

2. Предложено теоретическое описание особенностей структурообразования асфальтобетона. Экспериментальные результаты позволили количественно оценить структурно-механические изменения, происходящие в уплотняемых асфальтобетонных смесях и дать качественно-количественную оценку 3-х этапов структурообразования при формировании структуры и свойств асфальтобетона.

3. Установлено, что при уплотнении асфальтобетонных смесей достижение нормативной плотности асфальтобетона в конструктивных слоях дорожной одежды не гарантирует получения всего требуемого комплекса физико-механических свойств и структуры материала, отвечающих эксплуатационным условиям.

4. Разработана методика проектирования асфальтобетона для устройства покрытий автомобильных дорог по требуемому комплексу показателей структурно-механических свойств.

Список литературы:

1. *Котлярский, Э. В.* Формирование структуры высококонцентрированных дисперсных материалов с учетом контактных взаимодействий в процессе уплотнения (на примере асфальтового бетона) / Э.В. Котлярский, В.Н. Финашин, Н.Б. Урьев, В.Е. Черномаз // Коллоидный журнал. – 1987. - № 1. - С. 72-76.
2. *Котлярский, Э. В.* Структурно-механические свойства асфальтобетона и асфальтобетонных смесей / Э.В. Котлярский // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии». Ч. «Эффективные материалы, технологии, машины

для строительства и эксплуатации автомобильных дорог. Обеспечение безопасности движения: сб. докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 18-19 сентября 2007 г. / БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2007.

3. *Котлярский, Э. В.* Структурно-механические свойства асфальтобетонных смесей и асфальтобетона / Э.В. Котлярский // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Научно-теоретический журнал. – 2008. - № 4. - С. 4-9.
4. *Котлярский, Э. В.* Расчетно-экспериментальная оценка битумоемкости минеральных материалов для приготовления асфальтобетонных смесей / Э.В. Котлярский, А.М. Гридчин // Строительные материалы. – 2011. - № 2. - С. 40-44.

БЛОК ИСХОДНЫХ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОГРАММЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ТРЕБУЕМЫМИ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

**Котлярский Э.В., канд. техн. наук, профессор,
Кочнев В.И., мл. научн. сотрудник**
*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет*

Асфальтобетоном называется искусственный строительный материал, полученный в результате уплотнения специально приготовленной и рационально подобранной смеси щебня, песка, минерального порошка и битума и других компонентов.

Строительно-технические свойства асфальтобетона первоначально определяются технологическими параметрами асфальтобетонной смеси, что предопределяет его дальнейшую способность надежно противостоять эксплуатационным воздействиям.

Выбор составляющих материалов и технические требования к ним обусловлены ролью компонентов в формировании структуры и свойств асфальтобетона и его назначением в дорожной конструкции.

Существуют автоматизированные программы, способные производить на ЭВМ проектирование составов асфальтобетонной смеси. Анализ показал, что они как правило, имеют общую структуру, показанную на рис.1.

Ниже рассмотрен первый блок программы автоматизированного проектирования состава асфальтобетонной смеси с требуемыми структурно-механическими свойствами (ASBET-6) – «Блок исходных данных».

На первом этапе необходимо задать требуемые параметры проектируемой асфальтобетонной смеси. Это вид, тип и марка смеси, назначение конструктивного слоя дорожной одежды, тип гранулометрии (непрерывная либо прерывистая), наибольший размер крупного заполнителя и др. Эти данные могут вводиться в память ЭВМ в ручную, или извлекаться из электронных проектов в автоматизированном режиме.



Рисунок 1. Общая структура алгоритма автоматизированного проектирования состава асфальтобетонной смеси

С учетом этой информации предлагаемый алгоритм автоматически определяет предельные значения гранулометрии (например, по ГОСТ 9128) для проектируемых составов. С этой целью в зависимости от типа и вида смеси, рекомендованному стандарту, присвоено свое оригинальное значение. Алгоритм проектирования состава асфальтобетонной смеси анализирует всю совокупность исходных данные и из базы данных (ГОСТ) автоматически определяет необходимые массивы исходной информации для дальнейшего проектирования в автоматизированном режиме (см. рис. 2).

Для проектирования состава асфальтобетонной смеси в качестве исходной информации необходимо учитывать свойства исходных компонентов. Они могут быть определены в дорожной лаборатории асфальтобетонного завода или на предварительном этапе можно воспользоваться данными сертификатов и паспортов поставщиков. К ним относятся песок, щебень, минеральный порошок, битум и другие компоненты.

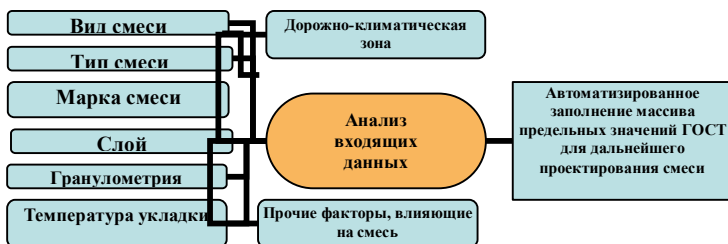


Рисунок 2. Схема работы алгоритма по определению требуемых показателей ГОСТ

Данные могут попадать в расчетный блок двумя путями: либо вручную из лабораторных журналов на бумажном носителе, либо в автоматизированном режиме, если с использованием электронных лабораторных журналов (см. рис. 3).



Рисунок 3. Способ ввода данных в блок исходных данных

Выбор составляющих материалов и технические требования к ним обусловлены ролью компонентов в формировании структуры и свойств асфальтобетона и его назначением в дорожной конструкции.

Известно, что щебень в асфальтобетоне является макроструктурной составляющей, формирующей каркас.

В соответствии с нормативными требованиями содержание пылеватых и глинистых частиц в щебне должно не превышать 3% по массе. Для каркасных смесей форма щебня должна приближаться к кубовидной. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) формы в щебне (или гравии) не должно превышать для асфальтобетона типа А - 15%, типов Б и Б_х - 25% и типов В и В_х - 35%. Шероховатая поверхность частиц щебня обуславливает повышение угла внутреннего трения материала и способствует лучшему прилипанию органического вяжущего.

Программа автоматически формирует отчет, который при необходимости может быть выведен на бумажном носителе. Пример введенных исходных характеристик щебня представлен на рис. 4.

Зерновой состав							
Остатки на ситах, % масс	Размер частиц, мм						
	40	20	15	10	5	2,5	1,25 < 1,25
Частные	9.40	95.30	3.90	0.40	0.10	0.00	0.00
Полные	9.40	95.70	99.50	99.90	100.00	100.00	100.00

Рисунок 4. Пример введенных исходных характеристик щебня

Песок заполняет пустоты между зернами крупного заполнителя, повышая плотность асфальтобетона. Для приготовления асфальтобетонных смесей рекомендовано применять как природные (кварцевые, полевошпатовые и др.), так и пески из отсевов дробления горных пород (высевки).

Стандартные требования допускают предельное содержание в песке пылеватых и глинистых частиц в количестве не более 1% (по массе). Автоматически сформированный и выведенный для печати на бумажном носителе отчет на рис. 5.

Зерновой состав							
Остатки на ситах, % масс	Размер частиц, мм						
	10	5,0	2,50	1,25	0,63	0,315	0,16 < 0,16
Частные	0.00	4.90	9.10	10.20	27.60	34.00	2.00
Полные	0.00	4.90	14.00	24.20	51.80	85.80	100.00

Рисунок 5. Пример введенных исходных характеристик песка

Минеральный порошок представляет собой тонкодисперсный наполнитель, выполняющий сразу несколько функций.

В разные годы установлено, что прочность, плотность и теплоустойчивость асфальтобетона в значительной степени зависят от качества и количества наиболее тонкодисперсной составляющей минеральной части асфальтобетонной смеси - минерального порошка.

Минеральный порошок выполняет роль активного наполнителя, образующего в смеси с битумом асфальтовязущее вещество - тонкодисперсную систему, которая, обволакивая более крупные минеральные составляющие асфальтобетона, соединяя их в монолит.

Известно, минеральный порошок выполняет в асфальтобетоне три функции:

1. является тонкодисперсным наполнителем, заполняющим микропустоты между частицами щебня и песка, что повышает плотность минерального остова асфальтобетона;
2. в силу развитой поверхности, составляющей более 200 м²/кг (или 90 -99% от общей удельной поверхности минеральных частиц, входящих в состав асфальтобетона), порошок вместе с органическим вяжущим, способствует формированию структурированной дисперсной системы. Высокая дисперсность порошка способствует образованию асфальтовязущего вещества, т.е. объединению с битумом, реализуя его повышенную адгезию к основным горным породам;
3. тонкодисперсные минеральные частицы высокодисперсного минерального порошка взаимодействуют при высоких технологических температурах по микропрослойкам с органическим вяжущим, повышают в зоне контакта его вязкость и переводят битум из "объемного состояния в пленочное (структурированное) состояние", формируя микроструктуру асфальтобетона.

Сформированный автоматически и выведенный для печати на бумажный носитель отчет на рис. 6.

Органические вяжущие материалы.

Для приготовления асфальтобетонных смесей применяют битумы нефтяные дорожные вязкие и жидкие, сланцевые и природные, а также полимерно-битумные вяжущие и модифицированные битумы.

Битум - органическое вяжущее вещество, состоящее из смеси углеводородов, их кислородных, водородных, сернистых и азотистых

производных. Сырьем для производства дорожных нефтяных битумов служат нефти.

Microsoft Excel - [ASBET6].xls

Минеральный порошок

Месторождение	Полотнянозаводское карьероуправление		
Завод-производитель	Полотнянский		
Вид	неактивированный		
Форма чвстци	шар		

Зерновой состав

Остатки на ситак,	Размер частиц, мм							< 0,071
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	
% масс.								
Частные	0	0,00	0,00	0,8	7,6	9,2	10,3	72,1
Полные	0	0,00	0,00	0,8002	8,4002	17,6002	27,9	100,0002

Марка по дробимости исходной породы, МПа : 100

Плотность, г/см³: 2,69

Содержание частиц мельче 1,25 мм, % масс. 100

Содержание частиц мельче 0,071 мм, % масс. 72,1

Битумность : 61

Рисунок 6. Пример введенных исходных характеристик минерального порошка

По способу получения нефтяные битумы подразделяют на природные, остаточные, окисленные, крекинговые и компаундированные. Требования к органическим вяжущим материалам регламентированы различными стандартами (например, ГОСТ 22245-90), которые имеются в электронной базе данных нормативных требований.

Выведенный для печати на бумажном носителе отчет о свойствах вязкого дорожного битума марки БНД 60/90 представлен на рис. 7.

Microsoft Excel - [ASBET6].xls

1.5. Битум

Завод-производитель	Рязанский НПЗ		
Марка :	БНД 60/90		

Пенетрация при 25°С, 0,1 мм : 73

То же при 0°С, 0,1 мм : 21

Температура размягчения, °С : 48

Температура хрупкости, °С : -16

Растяжимость, см : 57

Щелчение : выдерж.

Рисунок 7. Пример введенных исходных характеристик используемого битума

Неоднократно отмечалось в научно-технической литературе, что качественные характеристики всех компонентов оказывают

существенное влияние на качество и свойства готовой асфальтобетонной смеси. К сожалению, на данный момент не существует полной аналитической либо многофакторной статической модели получения абсолютных количественных взаимосвязей свойств исходных компонентов со свойствами получаемого из них асфальтового бетона. Одна с определенной доверительной надежностью можно осуществить статистическое моделирование процесса проектирования асфальтобетона с требуемыми структурно-механическими свойствами.

Вместе с тем, в ходе многочисленных исследований различными авторами за многие годы накоплены данные о влиянии свойств и состава асфальтобетонных смесей на свойства асфальтобетона. Использование возможностей современных ЭВМ позволяет систематизировать определенные формализованные знания. Возможности многофакторного корреляционного и регрессионного статистического анализа позволяют получать зависимости, с требуемой доверительной надежностью отражающие влияние показателей качества компонентов асфальтобетонной смеси на ее свойства. Например, в табл. 1 показано влияние приращений показателей качества компонентов асфальтобетонной смеси на свойства асфальтобетона [1].

Таблица 1. Влияние приращений показателей качества компонентов асфальтобетонной смеси на свойства асфальтобетона.

№	Входные параметры	Выходные параметры	Формула
1	Отношение П/МП	Пористость смеси, %	$y=1,0357x^2-7,5357x+37,5$, x-доля П в %
2	Отношение Щ/П	Прочность при сдвиге, МПа	$y=-0,0141x^2+0,157x+0,231$, x-доля П в %
3	Доля Б	Прочность при сжатии R ₂₀ , МПа	$y=-0,307x^2+1,9529x-0,64$, x-доля Б в %
4	Доля Б	Прочность при сжатии R ₅₀ , МПа	$y=-0,1571x^2+0,9729x-0,31$, x-доля Б в %
5	Температура при испытании, °С	Прочность при сжатии R ₅₀ , МПа	$y=4,6667x^2-48,667x+134$, x-температура °С
6	Вязкость битума (Глубина проникновения)	Прочность при сжатии R ₅₀ , МПа	$y=-5,5x+38,667$, x- вязкость битума, мм при 0 °С

	иглы при 0°C), мм		
7	Доля Щ, %	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	$y = -0,2 + 2,2x$ x- доля Щ в %
8	Отношение Б/МП	Прочность при сжатии R_0 , МПа	$y = -0,0105x^2 + 0,5382x - 0,5629$, при доле Б 22% $y = -0,0043x^2 + 0,3036x - 0,3314$, при доле Б 29% $y = -0,006x^2 + 0,3736x - 0,3689$, при доле Б 29% x- доля Б

Первый блок автоматизированной программы для подбора состава асфальтобетонной смеси АСБЕТ 6- блок исходных данных формирует начальную информацию о проектируемой смеси, используемую программой на последующих этапах проектирования, как показано на рисунке 8.

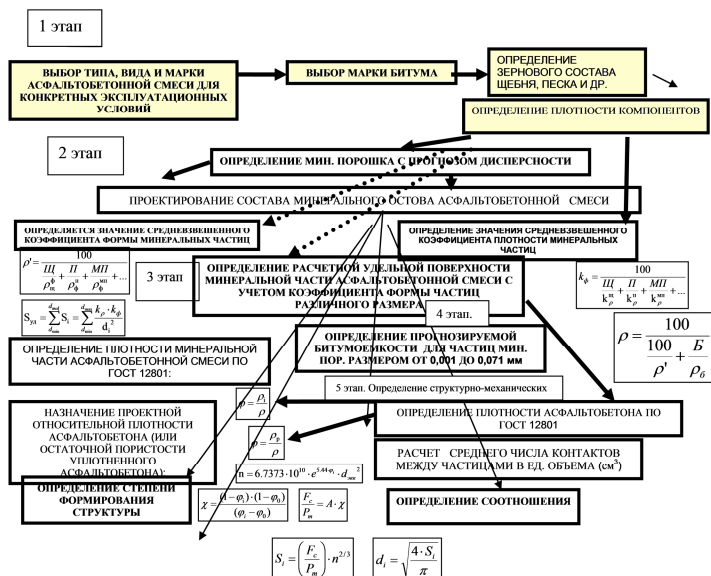


Рисунок 8. Подробный алгоритм работы программы автоматизированного проектирования состава асфальтобетона. Цветом выделен блок исходных данных программы

Хочется отметить, что, из-за обилия параметров, которые следует вводить вручную, блок исходных представляет собой наиболее уязвимую часть алгоритма с точки зрения человеческой ошибки. В связи с этим предусмотрены меры оповещения проектировщика об ошибке во вводимых показателях. Так, к примеру, при неверном указании значений предполагаемого состава в таблице предельных значений ГОСТ будет выведено сообщение об ошибке. Предполагается усовершенствовать алгоритм, реализовав возможность анализа зернового состава компонентов и прочих исходных данных с последующим выводом сообщения об ошибке в случае наличия существующей. Это позволит в еще большей степени автоматизировать процесс подбора состава асфальтобетона.

Список литературы:

1. *Воробьев, В. А.* Компьютерное моделирование в автоматизации производства асфальтобетонной смеси / В.А. Воробьев, Д.Н. Суворов, Э.В. Котлярский, А.И. Доценко, В.П. Попов. - 2009. - С. 408-410.
2. ГОСТ 9128-2009 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. - 2009.
3. *Котлярский, Э. В.* Строительно-технические свойства дорожного асфальтового бетона / Э.В. Котлярский. - 2004. – С. 11-19.
4. *Николаев, А. Б.* Процесс проектирования состава асфальтобетонных смесей с заданными структурно-механическими свойствами с использованием автоматизированных систем (статья) / А.Б. Николаев, Э.В. Котлярский, В.И. Кочнев. - 2011. – С. 1-3.

ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ УПЛОТНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ОСНОВАНИЯ ПО ГЕОРАДАРНЫМ ПРИЗНАКАМ

**Кочетков В.А., канд. техн. наук,
Волков В.В., канд. физ.-мат. наук, доцент,
Подольский В.П., д-р техн. наук, профессор**
Военный авиационный инженерный университет

Развитие экономики страны неразрывно связано с развитием транспортной инфраструктуры, в которой важным элементом является авиация. Увеличившийся грузо- и пассажирооборот привел к увеличению взлетных масс воздушных судов, интенсивности их полетов, что увеличило эксплуатационные нагрузки на аэродромные конструкции. Величина этих циклических нагрузений порой превышает допустимое значение для конкретного основания аэродрома, что сказывается на надежности аэродромной конструкции и безопасности эксплуатации воздушных судов.

Для определения степени уплотнения формируемого основания была разработана методика георадарного мониторинга с внесением в основание радиоотражающих слоев.

Для выявления влияния начальных условий на измерения были произведены замеры на участках, подвергаемых реконструкции. В процессе их проведения в основание на глубину до 1 м внесены отражатели, представляющие собой нарезку из медного эмалированного провода сечением 0,4 мм, длиной 2,5; 5; 10 и 20 мм.

Дипольные элементы контрастно выделяют границы слоёв и при статистической обработке радиолокационного сигнала позволяют выявить корреляционную зависимость изменения пространственного распределения элементов в единичном объёме с последующим ее сравнением с эталонным значением.

При выполнении каждой технологической операции от засыпки минеральным грунтом участка при послойном уплотнении и последующем восстановлении покрытия производятся замеры сигнала, отраженного от массива грунта с внесенными диполями при помощи измерительной установки.

В результате обработки полученных данных по вышеуказанной методике определена зависимость изменения среднестатистического отклика радиолокационного сигнала при распределении частиц определенного размера по глубине в основании от приложенной

нагрузки при деформации покрытия (рис. 1), где 1 – концентрация элементов длиной 5 мм в отсутствие нагрузки; 2 – концентрация элементов длиной 20 мм в отсутствие нагрузки; 3 – концентрация элементов длиной 5 мм при приложении нагрузки 200000 Н/м^2 ; 4 – концентрация элементов длиной 20 мм при приложении нагрузки 200000 Н/м^2 .

В результате процессов, изменяющих свойства грунта и искусственного основания: суффозии, уноса частиц грунтовыми и поверхностными водами, выдавливание материала основания в процессе эксплуатации, – в них наблюдаются структурные изменения. Это выражается в различном характере смещения дипольных элементов, дающих радиолокационный отклик при георадарном мониторинге.

Установлено, что уплотнение материала вновь формируемого слоя искусственного основания должно производиться при влажности меньше оптимальной на 4–5%. Изменение среднестатистической плотности дипольных элементов после уплотнения при различных влажностях показано на рис. 2. Можно обратить внимание, что процесс смещения частиц искусственного основания совместно с диполями сильно зависит от влажности. При недостаточной влажности наблюдается горизонтальное смещение частиц искусственного основания; при избыточной влажности наблюдается процесс перемешивания материала нижележащих и вышележащих слоев с одновременным выдавливанием на величину объема погружения катка, где 1 – изменение среднестатистической плотности дипольных элементов после уплотнения при недостаточной влажности, 2 – при оптимальной влажности, 3 – при переувлажнении.

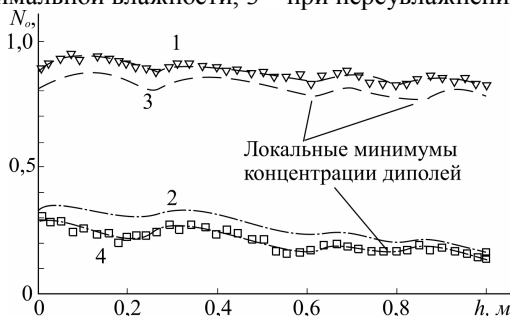


Рисунок 1 - Зависимость изменения среднестатистического отклика сигнала при распределении частиц определенного размера по глубине

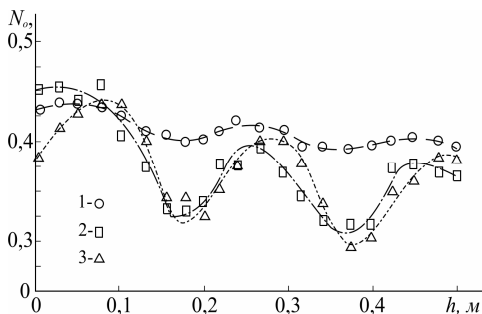


Рисунок 2 - Изменение среднестатистической плотности дипольных элементов после уплотнения при различных влажностях

Высокая чувствительность метода к смещению дипольных элементов позволяет использовать георадарный мониторинг не только для определения толщины и количества слоев основания, но и для управления процессом его уплотнения при строительстве или реконструкции.

Применение предложенного метода для выявления изменения структуры искусственного основания позволяет строить радарограммы фазового взаимного расположения дипольных элементов, внесенных в материал. Это дает возможность выявлять участки с изменением структуры искусственного основания, а также величины взаимного перемещения диполей, связанных с материалом искусственного основания. В отличие от стандартной фазовая радарограмма не зависит от влажности материала слоев аэродромной конструкции и обладает повышенной чувствительностью к смещению дипольных элементов, внесенных в массив.

На основе предложенной методики радиолокационного обследования аэродромного основания и данных, полученных в ходе экспериментального исследования, а также теоретического обоснования физических процессов, происходящих в конструкции, получена аналитическая зависимость изменения прогиба конструктивных слоев основания от количества нагружений с учетом возникающих в нем структурных изменений.

Полная вертикальная деформация кубического элемента основания, расположенного в i -м слое, составит

$$U^n = \sum_1^M \frac{\sigma_j}{E_j} (1 - \nu_j^2) h_j + \\ + \sum_{n=1}^{N=N} \sum_1^M \frac{k(m/\pi D_i^2)^2 (1 - \nu_j^2)}{E_{Дi} [R(w)]_i} \cdot \frac{\text{LGN}(m)}{\text{LGN}} \left(e^{\frac{D_i}{V t_{pi}}} - 1 \right) K_p h_{pi}$$

где σ_j , E_j , ν_j , h_j , – напряжения сжатия, модуль упругости, коэффициент Пуассона, толщина материала j-го слоя; $E_{Дi}$ – модуль деформации; $[R(w)]_i$ – прочность на сжатие при заданной влажности; D_i – диаметр круговой площади нагружения i-го слоя; V – скорость перемещения нагрузки по поверхности покрытия; K_p – коэффициент, учитывающий изменение времени распространения сигнала в слое основания; k – переводной коэффициент, учитывающий количество колес на колесной тележке воздушного судна; t_{pi} – время, за которое реализация радарограммы примет начальное значение при снятии нагрузки.

Для правильной интерпретации результатов, полученных в ходе обследования аэродромной конструкции, разработана методика, в которой за основной признак изменения структуры искусственного основания взято изменение пространственной плотности распределения элементов, отражающих радиолокационный сигнал, свидетельствующее о возникновении дефектов. В силу большого размера диагностических элементов влияние естественной флуктуации частиц искусственного основания незначительно.

Используя начальные измерения, формируют паспортные данные аэродрома или дороги. Сравнение данных, полученных в ходе последующих обследований на любом этапе жизненного цикла, позволяет выявить зоны деструктивных изменений в искусственном основании.

Полученные данные изменения структуры искусственного основания при воздействии тяжелых воздушных судов позволили выработать рекомендации по повышению точности измерения параметров при мониторинге основания с последующим их учетом для оценки несущей способности.

Настоящие рекомендации предназначены для применения в эксплуатационных подразделениях транспортной отрасли. Они могут применяться при диагностике, обследовании участков дорог, аэродромов, при разработке проектов их ремонта и реконструкции. Для этого необходимо на стадии строительства, ремонта или реконструкции

внести материал, усиливающий отражение радиоволны и не маскирующей весь сигнал, проходящий через конструкцию.

В качестве такого материала могут применяться:

- нарезка из медной проволоки сечением $0,1 - 0,3 \text{ мм}^2$ и длиной $5 - 20 \text{ мм}$;

- нарезка из фольги площадью $1 - 5 \text{ мм}^2$;

- нарезка из металлизированной пленки площадью $1 - 5 \text{ мм}^2$;
- крупнозернистый песок или гравий, обработанные электропроводящими растворами или методом поверхностного напыления металла.

Возможно несколько вариантов внесения радиоотражающего материала:

1. Внесение дипольных элементов поверх сформированного слоя до момента организации последующего слоя с поверхностной плотностью.

2. Внесение дипольных элементов в слой формируемого основания. Распределение дипольных элементов определенного размера осуществляется разбрасыванием поверх сформированного слоя с поверхностной плотностью, указанной ниже в таблице, с последующим перемешиванием с материалом слоя на глубину до 10 см при помощи дорожной фрезы и уплотнением (значения в знаменателе).

3. Распределение тонкого слоя материала основания с дипольными отражателями, внесенными методом предварительного смещения, поверх технологически сформированного слоя с последующим уплотнением. Концентрация вносимых отражающих элементов аналогична п. 2.

4. Внесение на всю толщину слоя осуществляется путем предварительного перемешивания материала основания с отражающими элементами.

5. Обработкой песка оксидом олова SnO . Материал имеет поверхностную проводимость меньшую, чем металлы, объем вносимых отражателей больше, чем для металлических диполей.

Георадиолокационный мониторинг основания производится пошагово, по заранее прописанному алгоритму. Возможны следующие варианты:

- послойное обследование вновь формируемого основания с внесенными дипольными элементами;

- обследование полностью сформированного основания;

- обследование участков аэродрома во время его эксплуатации;

- обследование участков аэродрома во время особых эксплуатационных периодов, связанных с сезонным изменением несущей способности основания;

- выявление участков с измененной структурой;

- дополнительное сканирование при реконструкции или ремонте выявленного дефектного участка, удалении покрытия, позволяющее уточнить причину дефекта основания.

Предложенная технология контроля уплотнения искусственного основания на основе георадиолокационных признаках впервые позволяет обнаруживать изменения плотности однородного по составу материала слоя и может быть применен для определения начала структурных изменений в искусственном основании. Это позволяет своевременно предпринять меры по борьбе с деструктивными процессами в аэродромной конструкции.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА РАСПОЗНАВАНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ОБРАЗОВ, ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Кочеткова И.А.

Довгаль В.М., д-р техн. наук, профессор

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

Ранняя компьютерная диагностика занимает особое положение и имеет высокий социальный статус в современном здравоохранении. Одним из важнейших направлений системы поддержки принятия решений в медицине является быстрое своевременное и точное получение информации. Это особенно значимо, когда лимит времени для принятия жизненноважного врачебного решения ограничен. Чем более совершенные технические средства диагностики, тем больше вероятность обнаружить в организме имеющиеся отклонения.

В компьютерной медицинской диагностике в настоящее время существует ряд проблем:

1. Требуется модернизация и разработка систем поддержки принятия решения, позволяющих оперативно ставить правильный диагноз для повышения качества медицинской диагностики.
2. Отсутствует возможность визуального контроля состояния и его динамики.
3. Наличие субъективного фактора постановки диагноза.

Для решения указанных проблем предлагаются инструментальные средства распознавания многомерных образов состояния, его диагностики и прогнозирования. Таким образом компьютерную диагностику состояния пациента предполагается проводить на основе формируемого многомерного признакового пространства (многомерного образа состояния пациента), позволяющего хранить и отображать (визуализировать) результаты обработки различного рода данных. Известно, что именно наличие многомерного образа состояния пациента позволяет решить задачу визуализации состояния сложной системы на основе предложенного в [1] геометрического метода распознавания образов. Данный метод предполагает решение задачи диагностики состояния пациента проводить на основе анализа совокупности образов состояния, формируемых путём проекции исходного многомерного образа состояния пациента на выбранные ортогональные плоскости.

Общая структурно-функциональная схема информационной системы, иллюстрируется на рис.1. При разработке схемы рис.1 исходили из основных положений теории автоматического управления. В качестве объекта управления выбрана CCC.

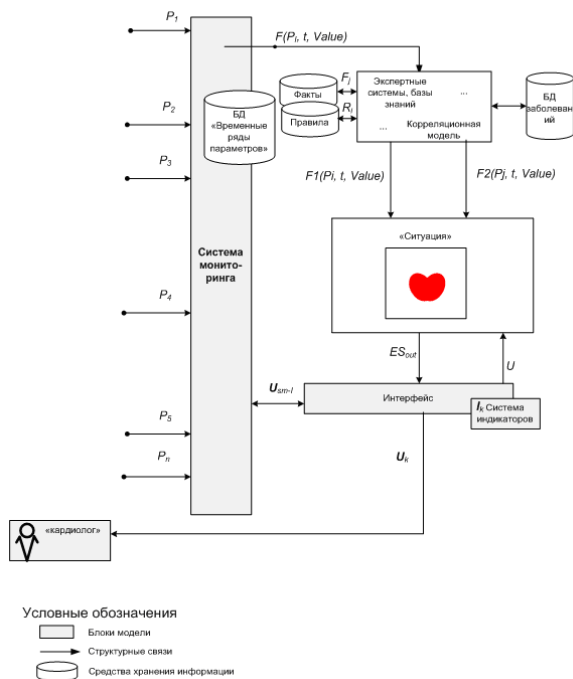


Рисунок 1. Структурно-функциональная схема информационной системы

Модель системы состоит из нескольких связанных блоков.

Блок 1 - система мониторинга с базой данных временных рядов параметров организма каждого «пациента». Задача системы мониторинга – собирать текущую информацию об изменении величин параметров организма $P_1 \dots P_n$ каждого наблюдаемого «пациента», предварительная обработка этой информации и отправка ее на хранение в БД 1 (база данных «временные ряды») установленной структуры. Также Блок 1 отвечает за достоверность, адекватность, актуальность, конфиденциальность помещаемой БД информации.

Блок 2 – интерфейс между «кардиологом» и системой мониторинга (Блок 1) U_k , а также прочими блоками системы. Задачи блока 2:

- предоставлять доступ «кардиологу» к данным мониторинга в БД1 по конкретному «пациенту»;
- предоставлять доступ к блокам моделирования влияния внешних и внутренних воздействий на работу организма пациента;
- визуализировать результаты моделирования.

Блок 3 – модель типа «стимул-реакция» на базе геометрического метода распознавания образов, позволяющего обучаться на данных наблюдения и предсказывать возможную модель реакции на различные комбинации воздействующих факторов в режиме «реального времени».

Блок 4 – набор моделей на базе а) математических методов (корреляционные модели и т.п.), б) методов экспертных систем. Блок 4 использует в качестве входа данные с Блока 1, Блока 3. Управляет его работой Блок 4.

Блок 5 – модель «кардиолога» - реализует методы поддержки принятия решений и генерирования проектов текстов заключений и прочих документов.

Следует отметить, что известен способ получения томографического изображения тела (Philips MX4000 Dual (Philips, Нидерланды)) и электроимпедансный томограф [2] (МЭИК 5.6 («ЭПИДБИОМЕД» и ООО ПКФ «СИМ-техника», Россия)), обеспечивающий диагностику органов с изменяющейся во времени проводимостью. Способ основан на измерении разностей потенциалов во времени и обеспечивает реконструкцию изображения пространственного распределения измеренного параметра путем нормирования полученных значений проводимости, исходя из того, что наименьшее и наибольшие значения проводимости выделяются различными цветами. Способ не позволяет оценивать динамику изменения состояния живого организма по множеству измеряемых параметров (клинических данных).

Известен способ компьютерной обработки и анализа изображений в медицинской диагностике эритроцитометрии [3] (Автоматический компьютерный анализатор клеток крови ВидеоТест–Гемм (ООО «ВИДЕОТЕСТ», Россия)). Способ позволяет на основе определения (проведения измерений) параметров эритроцитов различных классов в крови человека и визуального представления соответствующих изображений строить гистограммы распределения эритроцитов по классам, по которым судят об отклонении полученного результата от нормы, чем обеспечивается диагностирование состояния здоровья человека.

Рассматриваемые способы непригодны для динамического контроля и анализа состояния живого организма, не позволяют учитывать предысторию текущего состояния живого организма, а также являются трудоемкими и громоздкими.

Недостатком известных способов является большая сложность, трудоемкость и громоздкость проведения динамического анализа лабораторных данных по множеству измеряемых параметров.

С применением данной медицинской диагностической системой предполагается достичь следующих целей:

1. Распознавание болезни на самой ранней стадии для того чтобы дать возможность человеку минимизировать затраты времени, сил и денежных средств, для точной постановки диагноза и своевременного лечения пациента.

2. Повышение качества медицинской диагностики.

3. Анализ динамики течения болезни пациента и истории заболеваний.

4. Наглядное представление данных болезни, ее течения, для анализа лечащим врачом.

Также уже достигнуты соответствующие соглашения с ОГУЗ «Медицинский информационно-аналитический центр» для осуществления изысканий по теме проекта.

Для проведения оперативного (в реальном масштабе проведения измерений) контроля текущих значений клинических данных весьма эффективным применением способа является режим наблюдения или мониторинга (оперативного просмотра клинических данных на экране компьютера). Таким образом применение предлагаемых инструментальных средств в медицинской практике позволит оперативно контролировать и анализировать закономерности течения болезней, следовательно, повысить точность диагностики болезней, а в некоторых случаях решать прогностические задачи.

Список литературы:

1. Кочеткова, И. А. Использование геометрических методов распознавания образов для поддержки принятия решений врача диагноста / И.А. Кочеткова // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-23,[текст]: сб. трудов XXIII Междунар. науч. конф.: в 12 т. Т. 6. Секция 7 / под общ. ред. В.С. Балакирева. - Белгород: Белг.гос.техн.ун-т, 2010. – С. 155-157.
2. RU 2127075, А 61 В 5/05, 10.03.1999
3. Компьютерная обработка и анализ изображений. ВУТЕ. Россия. Журнал для профессионалов. Издат. Дом Питер. 6/7 (22-23), июнь-июль, 2000. – С. 57-59.

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖКХ

**Кушев Л.А., д-р техн. наук, профессор,
Савкин Д.А., ст. преподаватель,
Золотухин А.П., инженер**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
ОАО «Белпромпроект»*

Децентрализованное (автономное) теплоснабжение - теплоснабжение потребителей от источников тепла, не имеющих связи с общей тепловой сетью.

Процесс децентрализации теплоснабжения, охвативший ряд стран Европы (Италия, Германия), Азии (Китай, Корея, Япония) и Америки (США, Канада), с каждым годом все более ощутимо проявляется и в России. На данный момент можно уже говорить об общероссийской тенденции децентрализации отопления. Так за последние годы пуск в эксплуатацию котельных большой мощности (свыше 100 Гкал/час) в большинстве административных округов России отмечался лишь в единичных случаях, в то время как ввод в строй котельных малых мощностей (до 20 Гкал/час) повсеместно растет. Наступление процесса децентрализации серьезным образом затрагивает самые разные отрасли ЖКХ, как на этапе строительства систем автономного теплоснабжения так и при их эксплуатации [1].

Причины, по которым все чаще предпочтение отдается автономным системам отопления, в общем, очевидны. По сути, децентрализация теплоснабжения является одним из наиболее эффективных методов экономии энергоресурсов и материальных средств. Максимальное приближение источника тепла к потребителю значительно снижает и даже практически полностью исключает потери тепла по ходу теплотрасс. Вместе с тем снижаются или полностью исключаются расходы на прокладку и обслуживание теплотрасс. Снижаются затраты на строительство и оборудование специальных помещений для тепловых узлов. Более того новые возможности обретает жилищное строительство. При использовании автономных систем теплоснабжения, становится возможным строительство многоквартирных жилых объектов в районах новой застройки, необеспеченных развитой сетью теплотрасс; в микрорайонах и кварталах с хроническим недогревом; в зонах тупиковых теплотрасс.

В настоящее время в качестве источников тепла в децентрализованных системах теплоснабжения применяются: пристроенные котельные, крышные котельные, индивидуальные котельные агрегаты, тепловые насосы и вихревые теплогенераторы.

Пристроенные к дому или располагающиеся в непосредственной близости от него автономные котельные - один из вариантов, используемый при децентрализованном теплоснабжении в т.ч. и жилых объектов. Размещение такой котельной, однако, требует дополнительных площадей.

Автономные блочные (блочно-модульные) транспортабельные котельные (в т.ч. и отечественного производства), которые до 90-х годов применялись в нашей стране почти исключительно для теплоснабжения временных и удаленных объектов, также в настоящее время получили распространение и в сфере теплоснабжения жилых объектов, в т.ч. многоквартирных многоэтажных домов и других объектов коммунального хозяйства. Такие котельные часто сооружаются в контейнерном исполнении. Использование этих установок не требует возведения отдельного здания или перестройки существующего. Размещенное в утепленных модулях оборудование не требует обустройства капитального фундамента. Сборка в заводских условиях гарантирует качество монтажных работ [2].

Блочные котельные представляют собой полностью функционально законченное изделие, оснащены всеми необходимыми приборами автоматики и безопасности. Уровень автоматизации обеспечивает бесперебойную работу всего оборудования без постоянного присутствия оператора.

Основным недостатком пристроенных котельных являются большие капитальные вложения при строительстве и эксплуатационные затраты.

Более рациональным чем строительство пристроенных котельных является устройство крышных автономных источников тепла (АИТ), при которых ликвидируется необходимость строительства и потери, связанные с ними не только магистральных, но и внутри квартальных тепловых сетей. В этом случае, увеличение стоимости строительства на 10-15% по сравнению с пристроенными АИТ с лихвой оправдывается еще большим увеличением энергетической эффективности системы, что происходит за счет ликвидации промежуточных непроизводительных потерь и сокращения экологического ущерба на окружающую среду вследствие действительного уменьшения количества сжигаемого топлива и применения экологически безопасного оборудования.

Однако в проектировании и строительстве крышных АИТ накопилось достаточное количество негативных оценок. Несмотря на выход изменения № 1 СНиП М-35-76 "Котельные установки" и "Свода Правил по проектированию автономных источников тепла" СП 41-104-2000 и содержащихся в них рекомендациях по осторожному подходу к выбору оборудования, продолжается практика применения в крышных АИТ громоздкого, тяжеловесного оборудования: используются стальные жаротрубные котлы с надувными вентиляторными горелками с достаточно высокой эмиссией NO [3].

Такое оборудование характеризуется достаточно большим удельным весом от 5 до 10 кг/кВт мощности, высоким уровнем шума и вибрации, а шумоподавляющие, виброизолирующие мероприятия и устройства в этих проектах не используются. Все это приводит к утяжелению несущих конструкций жилых зданий, наличию шума и вибрации в жилых помещениях.

Альтернативой крышным и пристроенным котельным является индивидуальные котельные агрегаты.

Существенно повышается энергетическая эффективность системы теплоснабжения (оценивается только КПД котла 92-96%) и исключается полностью трубопроводная сеть при применении в экономически оправданных случаях поквартирного теплоснабжения на основе индивидуальных котельных агрегатов.

На начальном этапе развития поквартирного отопления в России, строители часто устанавливали в системах поквартирного отопления одноконтурные котлы мощностью 19 и даже 16 кВт, с открытой камерой сгорания. Такой котел используется только для отопления, а для обеспечения потребности пользователя в горячей воде необходимо дополнительно устанавливать накопительный или проточный водонагреватель. Забор воздуха для горения пламени горелки котла с открытой камерой сгорания, осуществляется из внутренней среды отапливаемого помещения, не изолированной и от попадания в нее продуктов горения.

На сегодняшний день, очевидно, что перспективу для поквартирного теплоснабжения имеют только двухконтурные котлы с закрытой камерой сгорания, мощностью 24-45 кВт, к которым предъявляется еще ряд дополнительных требований:

- Закрытая камера сгорания.
- Мощность 24-45 Квт.
- Наличие двух контуров для отопления и ГВС.
- Принудительная тяга.

- Циркуляционный насос.
- Электронное зажигание, ионизационный контроль пламени горелки.
- Непрерывная электронная модуляция пламени.
- Автоматическая электронная система самодиагностики.
- Относительно невысокая стоимость.

Требование невысокой стоимости котлов диктуется не только и не в первую очередь конкуренцией производителей, а более всего самим массовым применением котлов для оборудования системы отопления многоквартирного дома. Когда строители должны закупать котлы сразу большой партией, стоимость каждой единицы становится далеко немаловажным фактором, а порой и решающим. В принципе только этим и объясняется то, что до сих пор возводятся новые дома, где системы поквартирного отопления, оборудованы моделями с открытой камерой сгорания. Модели же высокой стоимости используются лишь в элитных, домах-коттеджах, в лучшем случае рассчитанных на несколько квартир, или не востребованы вовсе.

В качестве альтернативы котлу можно предложить тепловой насос. Основное назначение тепловых насосов (ТН) - отопление и горячее водоснабжение с использованием природных низкопотенциальных источников тепла (НПИТ) и сбросного тепла промышленного и коммунально-бытового сектора. Тепловые насосы по принципу действия относятся к трансформаторам тепла, в которых изменение потенциала тепла (температуры) происходит в результате подведенной извне работы [4].

В качестве низкопотенциальных источников тепла для ТН наибольшее распространение находят вода и воздух. Отсюда наиболее часто применяемыми схемами ТН являются «вода-воздух» и «воздух-воздух». По таким схемам ТН выпускают фирмы: «Carir», «Lennox», «Westinghous», «General Elektrik» (США), «Hitachi», «Daikin» (Япония), «Sulzer» (Швеция), «ЧКД» (Чехия), «Klimatechnik» (Германия). В последнее время в качестве НПИТ используют сбросные промышленные и канализационные стоки.

В странах с более суровыми климатическими условиями целесообразно применять ТН совместно с традиционными источниками тепла. При этом в отопительный период теплоснабжение зданий осуществляется преимущественно от теплового насоса (80-90% годового потребления), а пиковые нагрузки (при низких температурах) покрываются электродкотлами или котельными на органическом топливе [5].

Применение тепловых насосов приводит к экономии органического топлива. Это особенно актуально для удаленных регионов, таких как северные районы Сибири, Приморья, где имеются гидроэлектростанции, а транспортировка топлива затруднена. При среднегодовом коэффициенте трансформации $\mu=3-4$ экономия топлива от применения ТН по сравнению с котельной составляет 35-40%, т.е. в среднем 6-8 кг у.т./ГДж. При увеличении μ до 5, экономия топлива возрастает примерно до 20-25 кг у.т./ГДж по сравнению с котельными на органическом топливе и до 45-65 кг у.т./ГДж по сравнению с электродкотлами [6].

Таким образом, ТН в 1,5-2,5 раза выгоднее котельных. Стоимость тепла от ТН примерно в 1,5 раза ниже стоимости тепла от централизованного теплоснабжения и в 2,5-3 раза ниже газовых и мазутных котельных. Поэтому представляется целесообразным использовать ТН в качестве источника тепла для централизованных систем теплоснабжения.

В настоящее время в БГТУ им. В.Г. Шухова на кафедре «Теплогасоснабжения и вентиляции» ведутся работы по усовершенствованию конструкции теплового насоса что позволит повысить его коэффициент трансформации и более эффективно использовать НПИТ.

Список литературы:

1. *Мартынов, А. В.* Децентрализованные системы теплоснабжения / А.В. Мартынов // Системы теплоснабжения. Современные решения: сб. докл. Второй науч.-практ. конф. - Звенигород, 2006.
2. *Удовенко, В. Е.* Автономное теплоснабжение. Системы дымоудаления: Справочное пособие / В.Е. Удовенко. - М.: ЗАО «Полимергаз», 2006.
3. *Семенов, В. Г.* Децентрализованное теплоснабжение на примере г. Смоленска / В.Г. Семенов // Новости теплоснабжения.
4. *Янтовский, Е. И.* Парокомпрессионные теплонасосные установки / Е.И. Янтовский. - М.: Энергоиздат, 1982.
5. *Везиришвили, О. Ш.* Энергосберегающие теплонасосные системы тепло- и хладоснабжения / О.Ш. Везиришвили. - М.: Изд-во МЭИ, 1994.
6. *Соколов, Е. Я.* Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения / Е.Я. Соколов. - М.: Энергоиздат, 1981.

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ БИОРЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА

**Кушев Л.А., д-р техн. наук, профессор,
Суслов Д.Ю., ст. преподаватель,
Окунева Г.Л., канд. техн. наук, доцент,
Городов В.И.**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
ЗАО «Корочанский плодопитомник»*

В связи с интенсивным развитием животноводства и птицеводства Белгородская область столкнулась с экологическими проблемами утилизации отходов сельскохозяйственных предприятий.

Одним из перспективных методов переработки органических отходов является анаэробная ферментация в биогазовых установках, при этом происходит обеззараживание навозных стоков с одновременным получением органических удобрений и биогазового топлива.

Авторами разработана биореакторная установка получения биогаза на основе биореактора барботажного типа. Предлагаемые биореакторы позволяют повысить эффективность работы установки путем применения системы барботажного перемешивания оригинальной конструкции, которая состоит из барботажной трубы, выполненной в виде спирали с равномерно расположенными отверстиями для выхода газа (рис.1).

Задача расчёта конструктивных и технологических параметров системы барботажного перемешивания заключается в определении длины и диаметра барботера, количества и диаметра отверстий для выхода газа, а так же давления на входе в барботажную трубу.

Для эффективного перемешивания бродильной массы в биореакторе оптимальным значением скорости истечения газа из отверстий барботажной трубы ($v_{отв}$) является 30 м/с, при этом расход газа для перемешивания 1 м² спокойной жидкости составляет $Q=0,8$ м³/мин [1].

Объемный расход газа для перемешивания спокойной площади биореактора будет равным:

$$Q_r=0,8 \cdot F_6, \quad (\text{м}^3/\text{сек}), \quad (1)$$

где F_6 – площадь биореактора, м².

$$F_{\delta} = \frac{\pi \cdot D_{\delta}^2}{4} \quad (2)$$

где D_{δ} – диаметр биореактора, м.

Зная Q_r и определим площадь поперечного сечения барботажной трубы по формуле (3), при этом скорость газа в барботажной трубе ($v_{\delta r}$) должна быть не более 25 м/с, принимаем $v_{\delta r}=20$ м/с.

$$S_{\delta m} = \frac{Q_e}{v_{\delta m}} ; \quad \text{м}^2 \quad (3)$$

Далее определяем диаметр барботажной трубы

$$d_{\delta m} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\delta m}}{\pi}} , \quad \text{м.} \quad (4)$$

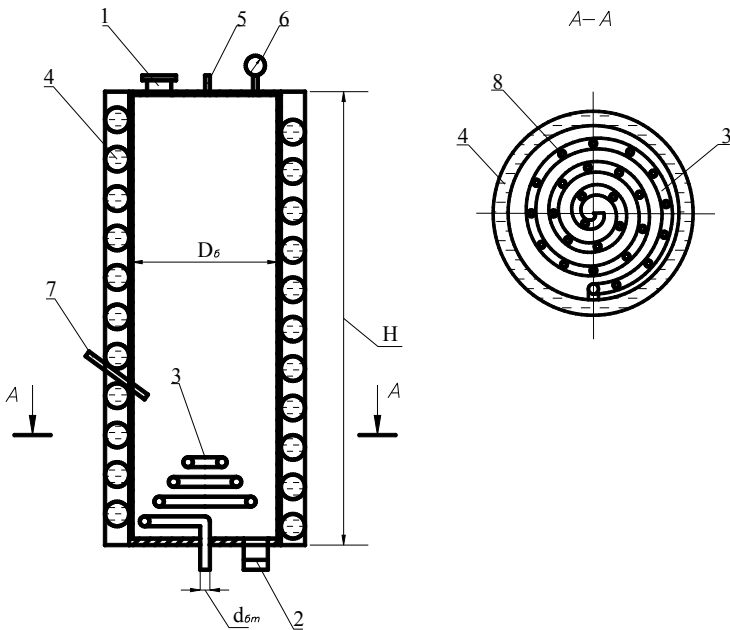


Рис.1. Схема биореактора барботажного типа.

- 1 – входной патрубок; 2 – выходной патрубок; 3 – система барботажного перемешивания; 4 – теплообменное оборудование (змеевик); 5 – патрубок выхода биогаза; 6 – манометр; 7 – термометр, 8 – отверстия для выхода газа

Длину барботажной спирали находим по формуле, м:

$$L_{\text{сп}} = \pi \cdot R_{\text{б}} \cdot n_{\text{в}}, \quad (5)$$

где $R_{\text{б}}$ – радиус биореактора, м; $n_{\text{в}}$ – количество витков спирали.

Количество витков спирали определяем по формуле

$$n_{\text{в}} = \frac{R_{\text{б}}}{3 \cdot d_{\text{отв}}}; \quad (6)$$

Отверстия для выхода газа размещаем на расстоянии l друг от друга, где $l = d_{\text{отв}} \cdot 5$, далее определяем количество и диаметр отверстий

$$n_{\text{отв}} = \frac{L_{\text{сп}}}{l}, \quad (7)$$

$$d_{\text{отв}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{отв}}}{\pi}} \quad (8)$$

$S_{\text{отв}}$ – площадь одного отверстия, которая зависит от расхода ($Q_{\text{г}}$) и скорости газа на выходе из отверстий ($v_{\text{отв}}$).

Давление газа (p), подаваемое в барботажную трубу для перемешивания бродильной массы внутри биореактора определяем с учетом требуемой интенсивности перемешивания, конструктивных особенностей барботера и рабочего давления биогаза в биореакторе, Па:

$$p = \Delta p_{\text{ст}} + \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{мс}} + p_0, \quad (9)$$

$\Delta p_{\text{ст}}$ – потери давления на преодоление столба бродильной массы (Па);

$\Delta p_{\text{тр}}$ – потери давления на трение (Па);

$\Delta p_{\text{мс}}$ – потери давления на преодоление местных сопротивлений (Па);

p_0 – давление газа над биомассой в биореакторе (Па), принимаем $p_0 = 100000$ Па.

Потери давления на преодоление столба бродильной массы определим исходя из состава бродильной массы, состоящей на 90% из воды и 10% - сухого вещества навоза.

$$\Delta p_{\text{ст}} = H \cdot \rho_{\text{об}} \cdot g, \quad (10)$$

H – высота столба бродильной массы, м;

$\rho_{\text{об}}$ – объемная плотность бродильной массы, кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/сек².

Расчет потерь давления на трение ведем для трубопровода подводящего к биореактору

$$\Delta p_{mp} = \lambda \frac{l_{\text{пт}} \cdot \rho_g \cdot v^2}{2d_{\text{пт}}} \quad (11)$$

$l_{\text{пт}}$ – длина трубопровода подводящего к биореактору, м, $l_{\text{пт}} = 10 \cdot D_6$, где D_6 – диаметр биореактора, м;

$d_{\text{пт}}$ – диаметр подводящего трубопровода, м, $d_{\text{пт}} = d_{\text{бр}}$;

ρ_g – плотность барботируемого газа, кг/м³;

λ – коэффициент трения.

Так как для барботажного перемешивания используется производимый биогаз, состоящий на 65% из метана и 35% - углекислого газа, принимаем $\rho_g = 1,158$ кг/м³, $\gamma_g = 11,05 \cdot 10^{-6}$, м²/с.

Коэффициент трения определяем по формуле

$$\lambda = 0,11 \left(\varepsilon + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (12)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{d_{\text{пт}}}$$

где $\frac{\Delta}{d_{\text{пт}}}$ – относительная шероховатость барботера;

Δ – абсолютная шероховатость, для стальных трубопроводов $\Delta = 0,01$ см = 0,0001 м;

Re – число Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot d_{\text{пт}}}{\gamma_g} \quad (13)$$

γ_g – кинематическая вязкость.

Определение потерь давления на преодоление местных сопротивлений

$$\Delta p_{mc} = \sum \zeta_{mc} \frac{\rho_g \cdot v^2}{2} \quad (14)$$

$\sum \zeta_{mc}$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений,

$$\sum \zeta_{mc} = \zeta_{\text{отв}} + \zeta_{\text{сп}} + \zeta_{\text{арм}} + \zeta_{\text{п}} \quad (15)$$

$\zeta_{\text{отв}}$ – коэффициенты местных сопротивлений на выходе из отверстий,

$$\zeta_{\text{отв}} = 1 \cdot n_{\text{отв}}, \quad (16)$$

$n_{\text{отв}}$ – количество отверстий;

$\zeta_{\text{сп}}$ – коэффициенты местных сопротивлений спирали,

$$\zeta_{\text{сп}} = \zeta_{\text{п.п.}} \cdot 4 \cdot n_{\text{в}}, \quad (17)$$

$\zeta_{п.п.}$ – коэффициент местных сопротивлений плавных поворотов,
 $\zeta_{п.п.}=0,14$;

$n_{в}$ – количество витков спирали,

$\zeta_{арм}$ – коэффициенты местных сопротивлений запорной арматуры,
в нашем случае установлены 2 шаровых крана т.е. $n_{арм}=2$, для
которых $\zeta_{ш.к.}=4$., следовательно

$$\zeta_{арм}=n_{арм} \cdot \zeta_{ш.к.} \quad (18)$$

$\zeta_{п}$ - коэффициенты местных сопротивлений поворотов
трубопровода, для одного поворота $\zeta_{п}=1,2$. Принимаем на всей длине
трубопровода 10 поворотов, таким образом $\zeta_{п}=10 \cdot 1,2=12$

Данный расчет позволяет определить оптимальные конструктивные
и технологические параметры системы барботажного перемешивания в
зависимости от вида исходного субстрата и конструкционных
особенностей биореактора.

Список литературы:

1. *Касаткин, А. Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / А.Г. Касаткин. - 2004. - 753 с.
2. *Идельчик, И. Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
3. *Кущев, Л. А.* Интенсивная технология переработки органических отходов в биореакторах барботажного типа / Л.А. Кущев, Д.Ю. Суслов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2011. – № 1. – С. 40-42.

РЕФЕРАТЫ

Аксененко, П. Ю. Тенденция использования габионных конструкций в основаниях аэродромов и способ определения их эксплуатационного состояния / П. Ю. Аксененко, 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. 1. – С. 9-13.

Мероприятия по отводу влаги из аэродромных оснований трудоемки и требуют значительных материальных затрат. В связи с этим указанные мероприятия применяются только при надлежащем технико-экономическом обосновании, тщательном анализе инженерно-геологической и гидрогеологической обстановки. По результатам исследования были получены эмпирические формулы, которые могут использоваться при анализе фильтрационного режима при строительстве и эксплуатации габионных сооружений.

Амелин, С. С. Термопарообразовоструйный инструмент для очистки поверхностей / С. С. Амелин // 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. 1. – С. 14-18.

В представленном докладе рассмотрены виды повреждений и износа технологического оборудования, зданий и сооружений, которые показывают необходимость создания и применения новых высокоэффективных инструментов.

Бажанов, А. Г. Нечеткие диаграммы поведения узлов для создания автоматизированной системы управления печью обжига цементного клинкера / А. Г. Бажанов, 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. 1. – С. 23-27.

В данной статье описываются принципы создания нечеткой диаграммы поведения узлов на примере узла нагрузки на главный привод печи.

Барабаш, Д. Е. Композиционные строительные материалы на основе модифицированных жидких олигодиенов / Д. Е. Барабаш, С. П. Чернухин // 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. 1. – С. 28-36.

В статье освещены вопросы проектирования эффективных композиционных материалов на основе олигодиенов. Показаны пути модификации исходного сырья в целях наиболее полного соответствия характеристик готового продукта предполагаемым условиям эксплуатации.

Белов, В. В. Моделирование капиллярных структур в трехфазных сырьевых смесях безобжиговых строительных конгломератов / В. В. Белов, И. В. Образцов // 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. 1. – С. 40-44.

Компьютерное моделирование и 3D-реконструкция капиллярных структур в трехфазных сырьевых смесях безобжиговых строительных конгломератов и разработанное соответствующее программное обеспечение позволяет обосновать научно-методический подход к получению композитов с полидисперсной оптимальной структурой.

Белоусов, А. В. WEB-базируемый доступ к технологическим параметрам распределенных объектов энергоснабжения и энергораспределения зданий / А. В. Белоусов., Ю. А. Кошлич, А. Б. Быстров // 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. 1. – С. 45-51.

Обеспечение доступа к технологической информации является ключевым моментом в организации энергоэффективной системы мониторинга состояния распределённых энергетических объектов. В статье рассматривается инновационный подход к организации доступа к технологическим параметрам распределенных объектов энергоснабжения и энергораспределения зданий с использованием современных WEB-технологий.

Белоусов, А. В. Технологические аспекты эксплуатации солнечных коллекторов в составе систем теплоснабжения зданий / А. В. Белоусов, С. И. Московченко, Ю. А. Кошлич // 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. 1. – С. 52-56.

В статье рассматривается актуальность применения солнечной энергии для теплоснабжения зданий на примере использования гелиоустановки в составе теплового узла БГТУ им. В.Г. Шухова в рамках демонстрационной зоны по энергосбережению. Проанализированы режимы работы солнечных коллекторов и выявлены основные особенности функционирования. Показана целесообразность применения гелио коллекторов.

Белых, А. Г. Методика оценки остаточного ресурса цементобетонных покрытий на основе вторичной акустической эмиссии / А. Г. Белых, А. В. Князев, В. В. Волков, А. В. Бураков // 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. 1. – С. 57-61.

Целью статьи является раскрыть физическую сущность и на ее основе построить математическую модель изменения прочности цементобетонного покрытия аэродромов для определения остаточного ресурса и назначения мероприятий по его продлению. В основе лежит неразрушающий метод диагностики, использующий эффект формирования акустической энергии в структуре цементобетона под воздействием внешнего поля сил и достижению их предельной величины.

Беляев, В. В. Применение эффективных металлических гофрированных конструкций при строительстве на подъездных и автомобильных дорогах / В. В. Беляев // 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. 1. – С. 62-66.

В данном докладе рассматриваются новые конструкции из МГК, применение которых позволит сократить сроки и снизить затраты при строительстве и восстановлении искусственных сооружений, а также обеспечат их живучесть и долговечность.

Богданов, В. С. Вибрационная мельница с наклонной помольной камерой для тонкого измельчения материалов / В. С. Богданов, А. Ю. Гаврунов // 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. 1. – С. 67-70.

Статья освещает вибрационное измельчение материалов через представление конкретного типа мельницы. Дается описание видов машин данного типа и их общих недостатков. Представляется описание конструкции нового типа вибрационной мельницы, ее отличие от существующих и описание принципа работы.

Богданов, В. С. Лабораторная установка инерционного грохота с геликоидной просеивающей поверхностью / В. С. Богданов, С. С. Латышев, Е. В. Рудакова // 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. 1. – С. 71-73.

В статье рассмотрена конструкция созданной лабораторной установки инерционного грохота с геликоидной просеивающей поверхностью.

Богданов, В. С. Вертикальная молотковая мельница. Интенсификация измельчения / В. С. Богданов, А. М. Раков // 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. 1. – С. 74-78.

В статье представлено описание и принцип работы вертикальной молотковой мельницы. Описание технологических схем работы этой мельницы по замкнутому циклу измельчения.

Богданов, В. С. Молотковая дробилка с переменным радиальным зазором между молотком и внутренней поверхностью рабочей камеры / В. С. Богданов, А. М. Раков // 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. 1. – С. 79-81.

В статье представлено описание и принцип работы молотковой дробилки с вертикальной осью вращения ротора с регулируемым зазором между молотками и внутренней рабочей поверхностью рабочей камеры.

Богданов, В. С. Рециркулирующие устройства для шаровых барабанных мельниц / В. С. Богданов, Ю. М. Фадин, С. С. Латышев // 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. 1. – С. 82-85.

В статье представлены показатели, характеризующие эффективность влияния трех вариантов внутримельничных устройств для трубной шаровой мельницы, которые позволяют организовать процесс рецикла измельчаемого материала внутри камер помола.

Богомолов, А. А. Качественный асфальтобетон – это качественные дороги / А. А. Богомолов, А. С. Корнеев // 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. 1. – С. 86-90.

В статье приведены причины строительства в России некачественных автомобильных дорог и пути решения данной проблемы за счет повышения качества асфальтобетона. Представлено уравнение модели процесса смешивания с применением критерия подобия Рейнольдса в модифицированном виде, связывающее геометрические, технологические параметры смесителя, а также реологические свойства смесей, и позволяющее оптимизировать процесс смешивания.

Бураков, А. В. Определение динамических параметров струи гидрорежущего агрегата для технологии гидроудаления повреждённых цементобетонных аэродромных покрытий / А. В. Бураков, В. В. Волков, А. Г. Белых // 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. 1. – С. 91-98.

В данном докладе представлен метод определения динамических параметров сверхзвуковой струи рабочей жидкости гидрорежущего агрегата для технологии гидроудаления повреждённых цементобетонных покрытий аэродромов государственной авиации, который в дальнейшем может быть использован в создании комплексной модели по выбору рациональных параметров гидрореза с заданными производственными ограничениями.

Вердиян, М. А. Разработка энергетических характеристик для производства цемента с эксергией по требованию потребителя / М. А. Вердиян, Н. П. Несмеянов, Д. В. Ильин // 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. 1. – С. 105-108.

В статье рассматриваются проблемы, стоящие перед цементными заводами по сбыту цемента потребителю. Рассмотрен новый подход к сбыту цемента с «выпуском цемента на заказ». Дана эксергетическая оценка к данному подходу.

Волков, В. В. Методика комплексирования структурных данных для определения надёжности транспортногo сооружения / 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. 1. – С. 109-112.

Выбор и обоснование технологических решений при строительстве, ремонте и реконструкции транспортных сооружений должны базироваться на результатах детальных обследований их состояния и прогнозировании развития различных видов разрушений. Это возможно реализовать на основе методики комплексирования структурных данных при определении надёжности транспортногo сооружения и позволяет не только выявить неоднородности пространственной структуры сооружения, но и проследивать во времени их изменение.

Воронов, В. П. Расчет коэффициента сопротивления смесительного штифтового узла одношнекового экструдера / В. П. Воронов, Л. А. Куцев, А. Л. Веретнов, Ю. В. Фоменко // 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. 1. – С. 113-119.

В статье предложен расчет коэффициента сопротивления смесительного штифтового узла одношнекового экструдера.

Гольцов, А. Б. К вопросу определения разрежения васпираионных уккрыях / А. Б. Гольцов // Инновационные материалы и технологии: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., 11 – 12 окт., 2011г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 1. – С. 120-124.

Наиболее эффективным методом борьбы с пылевыведением на предприятиях различных отраслей является система комплексной обеспыливающей вентиляции. Эффективная локализация источника пылевыведения возможна при правильном проектировании систем аспирации.

Гродецкая, Е. В. Влияние энергосберегающей оконной пленки на микроклимат в помещении в летнее время / Е. В. Гродецкая, П. А. Трубаев, С. Р. Назаров // 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. 1. – С. 129-132.

Для определения влияния энергосберегающей оконной пленки на микроклимат в помещении в летнее время был произведен мониторинг температур в двух офисных помещениях. Установлено, что снижение температуры в помещениях, оконные блоки которых оборудованы энергосберегающей пленкой, в солнечные дни составляет не менее 2°C.

Гродецкая, Е. В. Анализ энергоэффективности учреждений управления образования г. Белгород / Е. В. Гродецкая, 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. 1. – С. 133-138.

В работе представлена рейтинговая оценка энергоэффективности бюджетных муниципальных учреждений управления образования г. Белгорода. Показано, что для определения оптимальной структуры инвестиций в энергосберегающие мероприятия для достижения наибольшей экономии энергоресурсов необходим дифференцированный подход с учетом индивидуальных показателей каждого отдельного учреждения.

Гузенок, С. А. Методика определения величины модуля упругости искусственного основания автомобильной дороги / 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. 1. – С. 139-143.

Оценка качества построенной дороги сопряжена с рядом трудностей, первая из которых неоднозначность общего модуля упругости дорожной конструкции. Вторая, определение модуля упругости конструкции только по одному прогибу. Данное исследование показывает, что существует возможность определения величины модуля упругости искусственного основания, используя сложное статическое нагружение от штамповой нагрузки.

Дегтярь, А. Н. Использование оптического метода в механике разрушения / А. Н. Дегтярь, А. Г. Юрьев // 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. 1. – С. 144-147.

Изложена сущность метода голографической интерферометрии и возможность его рационального использования при обнаружении и оценке трещин в несущей конструкции.

Донченко, О. М. Актуальные проблемы конструктивно-технологических решений и эффективных материалов в капитальном строительстве / О. М. Донченко, И. А. Дегтев, Н. В. Солодов // 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. 1. – С. 148-157.

Рассматриваются структурные затраты в себестоимости современного строительства. С позиций экономии материалов и энергоресурсов освещаются актуальные проблемы проектирования и строительства новых конструктивно-технологических решений повышения потребительских качеств эффективных строительных материалов.

Евтушенко, Н. Д. Оптимизация управления грузопотоками / Н. Д. Евтушенко, Л. А. Куцев, А. П. Гаевой // 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. 1. – С. 158-161.

Важность решения задачи оптимального управления движением грузопотоков очевидна. Минимизация расходов на транспортировку продукции становится одной из основных задач каждого предприятия. Ее решение позволит существенно снизить издержки и повысить рентабельность предприятия.

Жук, С. А. Разработка адаптивной системы управления с использованием параллельно включенных исполнительных устройств / С. А. Жук, А. С. Копылов // 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. 1. – С. 162-164.

В статье предлагается способ управления различными видами объектов, с приведением примеров, при помощи параллельно включенных исполнительных устройств, приводится пример

управления горелкой, а так же сравнение с другими видами управления горелками.

Золотарев, О. В. Планирование эксперимента перемешивания строительных смесей / О. В. Золотарев // 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. 1. – С. 165-166.

В статье рассмотрены результаты планирования многофакторного эксперимента перемешивания строительных смесей, приведены исследуемые факторы и уровни их варьирования.

Золотухин, А. П. Применения инъекции в тепловой насосной установке для повышения энергоэффективности системы / А. П. Золотухин, Л. А. Куцев, Д. А. Савкин // 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. 1. – С. 167-173.

В статье рассматривается проблема энергосбережения в сфере теплоснабжения для нужд ЖКХ. Кратко описана история компрессорных установок и их виды. Содержится описание влияющих факторов на КПД компрессоров таких как инъекция хладагента. Приведен пример о реализации повышения коэффициента трансформации ТНУ компрессором на опыте зарубежной фирмы Mitsubishi Electric.

Игнатенко, В. А. СЛУ-технология как основной инструмент построения систем автоматизации технологических процессов в промышленности строительных материалов / В. А. Игнатенко, 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. 1. – С. 174-178.

СЛУ- технология представляет собой новый комплексный подход к проектированию цифровых систем автоматического управления. Эта технология позволяет упростить разработку и устранить ошибки, возникающие на этапе проектирования и отладки.

Камынин А. А. Применение экстраполирующей функции для форсирования адаптации управляющего воздействия под текущую нагрузку в условиях минимума информации / А. А. Камынин, А. С.

Кижук, 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. 1. – С. 186-191.

В статье описывается способ форсирования процесса адаптации длительности управляющего воздействия, под текущую нагрузку, путем введения экстраполирующей функции для систем управления с двухпозиционными исполнительными устройствами.

Камынин, А. А. Математическое описание процессов теплообмена в калорифере приточно-вытяжной установки / А. А. Камынин, А. С. Кижук // 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. 1. – С. 192-196.

В статье приводится один из вариантов математического описания процесса теплообмена происходящих в калорифере приточно-вытяжной установки.

Кариков, Е. Б. Использование передаточных функций дробного порядка для моделирования работы колосникового холодильника / Е. Б. Кариков, 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. 1. – С. 197-203.

Рассматривается получение математической модели охлаждения клинкера в колосниковом холодильнике на основе решения уравнения теплопроводности зернистого слоя с использованием производных дробного порядка.

Качаев, А. Е. Механоактивация анизотропных наполнителей для безобжиговых вяжущих с применением дезинтеграторных технологий / А. Е. Качаев, Т. Н. Орехова, А. В. Уральский, В. С. Севостьянов // 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. 1. – С. 204-208.

В статье рассмотрены технология и технические средства для производства безобжиговых вяжущих из стеклянного боя с различным содержанием натриевых добавок. Представлены результаты дисперсных характеристик анизотропных материалов, измельченных в помольных агрегатах.

Каширин, В. А. К вопросу о выборе рационального способа изменения строительных свойств грунтов в условиях работы Спецстрою РФ / В. А. Каширин // 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. 1. – С. 209-213.

В данной статье рассматриваются методы улучшения строительных свойств грунтов применительно к Спецстрою РФ при восстановлении объектов специального назначения.

Кирильчук, М. В. Возможности балансировки роторов дробилок ударного действия / М. В. Кирильчук, О. С. Ханина // 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. 1. – С. 220-224.

В статье описаны наиболее распространенные в промышленности балансировочные устройства с указанием их положительных и отрицательных характеристик, ограничивающих или способствующих применению устройств в промышленности строительных материалов. Рассмотрена конструкция нового устройства.

Кирильчук, М. В. Направления совершенствования молотков машин ударного действия / М. В. Кирильчук, О.С. Ханина // 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. 1. – С. 225-228.

В статье описаны различные конструкции молотков измельчителей ударного действия, указаны их положительные и отрицательные качества. Предложена новая конструкция молотка.

Князев, А. В. Определение динамического сдвига покрытия от воздушного судна / А. В. Князев, 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. 1. – С. 248-250.

Аэродромные покрытия испытывают сильное воздействие от воздушных судов и, в особенности с большой массой. Стандартные методики не позволяют определить сдвиг покрытия под движущимся воздушным судном. В исследовании показывается, как на основе

видиометрии измерить, динамический сдвиг жесткого аэродромного покрытия для оценки качества аэродромного покрытия.

Копылов, А. С. Нейро-нечеткое управление вращающейся печью для обжига цементного клинкера / А.С. Копылов, 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. 1. – С. 251-256.

Предлагается схема нечеткого управления вращающейся печью, метод адаптации функций принадлежности с помощью обучения нейронной сети по статистическим данным с реального объекта.

Котлярский Э. В. Блок исходных данных автоматизированной программы проектирования состава асфальтобетонных смесей с требуемыми структурно-механическими свойствами / Э. В. Котлярский, В. И. Кочнев // 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. 1. – С. 272-280.

Статья посвящена первому блоку автоматизированной программы для проектирования состава асфальтобетонной смеси с требуемыми структурно-механическими свойствами. представлены основные принципы работы алгоритма, рассмотрены характеристики исходных материалов асфальтобетонной смеси и их влияние на смесь в целом.

Кочетков, В. А. Технология управления качеством уплотнения искусственного основания по георадарным признакам / В. А. Кочетков, 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. 1. – С. 281-286.

Исследование изменения структуры искусственного основания аэродромной конструкции при воздействии циклического нагружения от взлетно-посадочных операций, выполняемых воздушными судами, прогнозирования его несущей способности и качества уплотнения возможно с использованием георадарной технологии рассмотренной в статье.

Кочеткова, И. А. Инструментальные средства распознавания многомерных образцов, диагностики и прогнозирования // И. А. Кочеткова, В. А. Довгаль // 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. 1. – С. 287-290.

Рассмотрен переход от традиционной формы представления и анализа клинических данных в виде табличной формы к их представлению в виде объёмного образа в N-мерном пространстве состояний и совокупности его визуализированных проекций на плоскость, совпадающую с плоскостью отображающего многоцветного экрана видеомонитора. Рассмотрена общая структурно-функциональная схема информационной системы на основе предлагаемого метода.

Кущев, Л. А. Децентрализованные системы теплоснабжения ЖКХ / Л. А. Кущев, Д. А. Савкин, А. П. Золотухин // 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. 1. – С. 291-295.

Статья посвящена обзору источников тепла для децентрализованных систем теплоснабжения ЖКХ. В ней приведены их основные типы, рассмотрены достоинства и недостатки каждого. Обоснованно преимущество тепловых насосов перед остальными источниками тепла.

Кущев, Л. А. Расчет системы перемешивания биореакторной установки получения биогаза / Л. А. Кущев, Д. Ю. Суслов, Г. Л. Окунева, В. И. Городов // 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. 1. – С. 296-300.

Разработана биореакторная установка получения биогаза при переработке органических отходов сельскохозяйственных предприятий. Произведен конструктивный и газодинамический расчет системы барботажного перемешивания бродильной массы в биореакторе, позволяющий определить оптимальные конструктивные и технологические параметры системы перемешивания.

СОДЕРЖАНИЕ

Агеев С.М., Зейниев Г.Я. Совершенствование управленческих структур для реализации инновационных технологий при возведении уникальных объектов.....	3
Аксененко П.Ю., Волков В.В. Тенденция использования габионных конструкций в основаниях аэродромов и способ определения их эксплуатационного состояния	9
Амелин С.С. Термопарообразивоструйный инструмент для очистки поверхностей.....	14
Афонин В.Г. Технологии ресурсосбережения специальной техники	19
Бажанов А.Г., Магергут В.З. Нечеткие диаграммы поведения узлов для создания автоматизированной системы управления печью обжига цементного клинкера.....	23
Барабаш Д.Е., Чернухин С.П. Композиционные строительные материалы на основе модифицированных жидких олигодиенов.....	28
Басавин Д.А., Иванов И.В. Обеспечение живучести технических систем путем перестройки их структуры	37
Белов В.В., Образцов И.В. Моделирование капиллярных структур в трехфазных сырьевых смесях безобжиговых строительных конгломератов	40
Белоусов А.В., Кошлич Ю.А., Быстров А.Б. WEB-базируемый доступ к технологическим параметрам распределенных объектов энергоснабжения и энергораспределения зданий.....	45
Белоусов А.В., Московченко С.И., Кошлич Ю.А. Технологические аспекты эксплуатации солнечных коллекторов в составе систем теплоснабжения зданий	52
Белых А.Г., Князев А.В., Волков В.В., Бураков А.В. Методика оценки остаточного ресурса цементобетонных покрытий на основе вторичной акустической эмиссии.....	57
Беляев В.В. Применение эффективных металлических гофрированных конструкций при строительстве на подъездных и автомобильных дорогах	62
Богданов В.С., Гаврунов А.Ю. Вибрационная мельница с наклонной помольной камерой для тонкого измельчения материалов.....	67
Богданов В.С., Латышев С.С., Рудакова Е.В. Лабораторная установка инерционного грохота с геликоидной просеивающей поверхностью	71

Богданов В.С., Раков А.М. Вертикальная молотковая мельница. Интенсификация измельчения	74
Богданов В.С., Раков А.М. Молотковая дробилка с переменным радиальным зазором между молотком и внутренней поверхностью рабочей камеры	79
Богданов В.С., Фадин Ю.М., Латышев С.С. Рециркулирующие устройства для шаровых барабанных мельниц	82
Богомолов А.А., Корнеев А.С. Качественный асфальтобетон – это качественные дороги.....	86
Бураков А.В., Волков В.В., Белых А.Г. Определение динамических параметров струи гидрорежущего агрегата для технологии гидроудаления повреждённых цементобетонных аэродромных покрытий.....	91
Бурьянов А.Ф., Бурьянов Е.Ф., Фадин Ю.М. Технологическая линия по производству эффективных гипсовых перегородочных плит.....	99
Вердиян М.А., Несмеянов Н.П., Ильин Д.В. Разработка энергетических характеристик для производства цемента с эксергией по требованию потребителя.....	105
Волков В.В. Методика комплексирования структурных данных для определения надёжности транспортного сооружения.....	109
Воронов В.П., Кущев Л.А., Веретнов А.Л., Фоменко Ю.В. Расчет коэффициента сопротивления смесительного штифтового узла одношнекового экструдера	113
Гольцов А.Б. К вопросу определения разрежения в аспирационных укрытиях.....	120
Гриджин А.М., Ядыкина В.В. Инновационные материалы и технологии в дорожном строительстве.....	125
Гродецкая Е.В., Трубаев П.А., Назаров С.Р. Влияние энергосберегающей оконной пленки на микроклимат в помещении в летнее время	129
Гродецкая Е.В., Трубаев П.А. Анализ энергоэффективности учреждений управления образования г. Белгорода	133
Гузенок С.А., Волков В.В. Методика определения величины модуля упругости искусственного основания автомобильной дороги.....	139
Дегтярь А.Н., Юрьев А.Г. Использование оптического метода в механике разрушения.....	144

Донченко О.М., Дегтев И.А., Солодов Н.В. Актуальные проблемы конструктивно-технологических решений и эффективных материалов в капитальном строительстве	148
Евтушенко Н.Д., Кушев Л.А., Гаевой А.П. Оптимизация управления грузопотоками	158
Жук С.А., Копылов А.С. Разработка адаптивной системы управления с использованием параллельно включенных исполнительных устройств	162
Золотарев О.В. Планирование эксперимента перемешивания строительных смесей.....	165
Золотухин А.П., Кушев Л.А., Савкин Д.А. Применения инъекции в тепловой насосной установке для повышения энергоэффективности системы.....	167
Игнатенко В.А., Магергут В.З. СЛЮ-технология как основной инструмент построения систем автоматизации технологических процессов в промышленности строительных материалов	174
Исаев И.К. Мера движения	179
Камынин А.А., Кижук А.С., Магергут В.З. Применение экстраполирующей функции для форсирования адаптации управляющего воздействия под текущую нагрузку в условиях минимума информации	186
Камынин А.А., Кижук А.С. Математическое описание процессов теплообмена в калорифере приточно-вытяжной установки.....	192
Кариков Е.Б., Рубанов В.Г. Использование передаточных функций дробного порядка для моделирования работы колосникового холодильника	197
Качаев А.Е., Орехова Т.Н., Уральский А.В., Севостьянов В.С. Механоактивация анизотропных наполнителей для безобжиговых вяжущих с применением дезинтеграторных технологий	204
Каширин В.А. К вопросу о выборе рационального способа изменения строительных свойств грунтов в условиях работы Спецстроя РФ	209
Киреев В.М., Гольцов А.Б., Минко В.А., Староверов С.В., Феоктистов А.Ю. Разработка конструкций аспирационных укрытий и методов их расчёта на предприятиях стройиндустрии.....	214
Кирильчук М.В., Ханина О.С. Возможности балансировки роторов дробилок ударного действия.....	220
Кирильчук М.В., Ханина О.С. Направления совершенствования молотков машин ударного действия.....	225

Клюев А.В. Стальные фибры и их применение для дисперсного армирования мелкозернистых бетонов.....	229
Клюев А.В., Лесовик Р.В. Расчет высокоплотной упаковки зерен мелкозернистого бетона.....	233
Клюев С.В., Лесовик Р.В. Внешнее армирование конструкций композитами на основе углеродного волокна	239
Клюев С.В., Лесовик Р.В. Дисперсно-армированный бетон полипропиленовым волокном.....	244
Князев А.В., Волков В.В. Определение динамического сдвига покрытия от воздушного судна.....	248
Копылов А.С., Магергут В.З. Нейро-нечеткое управление вращающейся печью для обжига цементного клинкера	251
Котлярский Э.В., Гридчин А.М. Научно-методические основы оценки структурно-механических свойств композиционных материалов на основе органических вяжущих	257
Котлярский Э.В., Кочнев В.И. Блок исходных данных автоматизированной программы проектирования состава асфальтобетонных смесей с требуемыми структурно-механическими свойствами	272
Кочетков В.А., Волков В.В., Подольский В.П. Технология управления качеством уплотнения искусственного основания по георадарным признакам	281
Кочеткова И.А., Довгаль В.М. Инструментальные средства распознавания многомерных образов, диагностики и прогнозирования	287
Кущев Л.А., Савкин Д.А., Золотухин А.П. Децентрализованные системы теплоснабжения ЖКХ	291
Кущев Л.А., Суслов Д.Ю., Окунева Г.Л., Городов В.И. Расчет системы перемешивания биореакторной установки получения биогаза.....	296