

интересным и перспективным изоляционным материалом, который должен быть рассмотрен подробно

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. King, B. // Design of Straw Bale Buildings: The State of the Art. Green Building Press – 2006. [Электронный ресурс]. URL: <http://greenbuildingpress.com/design-of-straw-bale-buildings/> (дата обращения 18.03.2014).
2. Wihan, J. // Humidity in straw bale walls and its effect on decomposition of straw. PhD – 2007. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.jakubwihan.com/pdf/thesis.pdf> (дата обращения 18.03.2014).

3. UFI's PRO official site // introduction – 2014 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wufi-pro.com/> (дата обращения 18.03.2014).
4. Evrad, A., Louis, A., Biot, B., Ubois, S. // Moisture Equilibrium in Straw Bale Walls – 2012 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.plea2012.re/pdfs/T08-20120130-0048.pdf> (дата обращения 18.03.2014).

Бруй А.Е. – студент, E-mail: bruy1991@yandex.ru; **Харламов И.В.** – к.т.н., профессор, E-mail: hiv@mail.altstu.ru, Алтайский государственный технический университет.

УДК 621.926:519

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И СМЕШИВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.А. Веригин, Я.Ю. Веригина

В работе проводится совместный анализ процессов измельчения исходного сырья до ультра дисперсного состояния и смешивания материалов в технологии приготовления бетона с последующей разработкой принципиальной логистической модели.

Предлагаемая логистическая модель позволяет детализировать наблюдаемые процессы и наметить пути их оптимизации.

Ключевые слова: измельчение, слесообразование, логистические модели, параметры измельчения и смешивания материалов.

Для анализа технологического процесса в строительстве, либо рабочего процесса машин и аппаратов при переработке сырья следует учитывать, что любой процесс основан на протекании нескольких взаимно противоположных (конкурирующих) явлениях. Например, таких, как смешивание и сепарация (рисунок 1), диспергирование и агрегация (рисунок 2), уплотнение и рыхление, обводнение и осушение, которым одновременно сопутствуют такие эффекты, как физико-химические проявления при растворении вяжущих, реакции термолиза, либо разрушение внутренних структурных связей вещества и т.п., обеспечивающие выполнение технологических требований к получению готовой продукции.

Опираясь на известные принципы синергетики, можно заключить, что наличие подобных эффектов характерно для не-саморазвивающихся сложных, наследственно необратимых систем [1].

Основными признаками таких систем является их развитие на основе внутренних

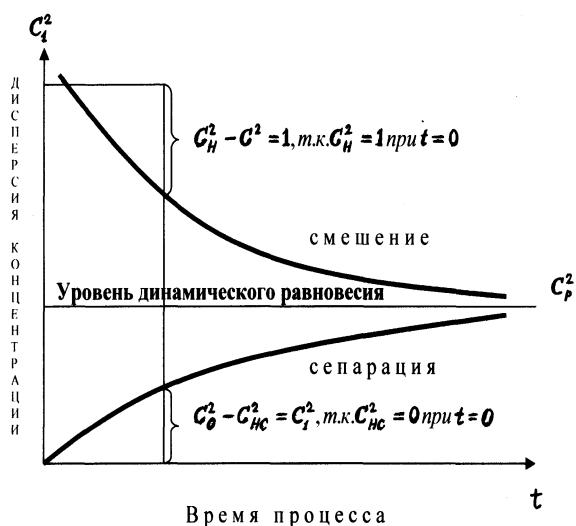
противоречий, активизирующихся за счет источников энергии и негэнтропии, подаваемых на вход системы.

Сложность технологических процессов строительства, например, при приготовлении материалов, заключается в том, что исходные сырьевые компоненты, являясь по своему составу дискретными грубодисперсными телами с обширной прерывистой или непрерывной гранулометрией, имеют различную поверхностную энергию (химическую активность и т.п.), по-разному проявляют ее при воздействии рабочего органа машины.

Сложность технологических процессов строительства, например, при приготовлении материалов, заключается в том, что исходные Это требует корректности при выборе технологического оборудования и оптимизации его эксплуатационных параметров.

Смесительный (С) и измельчающий (И) агрегаты – (СИА) образуют с обрабатываемой средой (ОС) единую систему «рабочий орган – обрабатываемая среда» замкнутую в ограниченном объеме аппарата. В результа-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2014

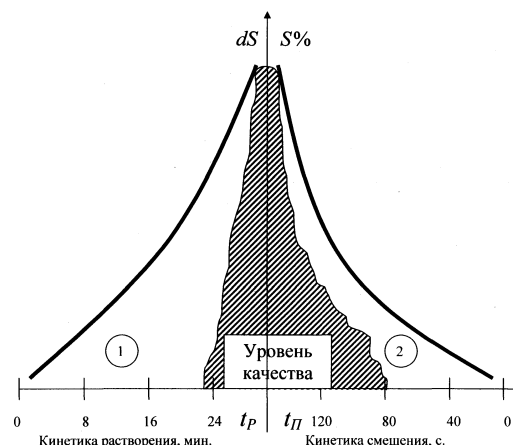


C_P – предельное качество смешения; C_H – начальная дисперсия концентрации компонента; $C_{H.C}$ – начальная дисперсия сепарации; C_C – предельное качество сепарации

Рисунок 1 – Кинетические кривые процессов смешения и сепарации

те действия рабочего органа (РО) машины в элементах системы происходят типовые механо-физико-химические процессы технологического передела материалов, которые составляют самостоятельную единицу первой ступени в иерархической структуре строительного, химического, металлургического и др. видов производств. Детализация этой единицы до уровня простейших эффектов и явлений позволяет рассматривать процесс перемешивания и диспергирования (измельчения) как сложную механо-физико-химическую систему (МФХС). Следуя методике школы проф. Кафарова В.В. [2], можно осуществить анализ структуры (МФХС). Логистизация технологического передела носит характер непрерывного процесса через реализацию функций логистического менеджмента: «планирование», «координация», «контроль», «мотивация», операции которых тесно взаимосвязаны друг с другом (рисунок 3).

При взаимодействии (РО) с (ОС) в плоскости их контакта сосредотачивается концентрация и сток энергии, поступающей от силовой установки. Подведенная энергия создает в среде напряженно-деформированное состояние, нарушение сплошности и объемного статического равновесия. Это сопровождается переносом элементарных объемов вещества из одного стационарного состояния в другое, образованием плоскостей сдвига и скольжения по поверхности раздела фаз в



1 – пептизация, дефлокуляция и диспергирование вяжущего (конденсация и растворение) с последующим образованием коагуляционной тиксотропной структуры в коллоидной водоминеральной составляющей;
2 – процесс распределения заполнителей, образование дисперсной смеси в композиционной среде с упруговязкопластическими свойствами

Рисунок 2 – Кинетические кривые процессов смешения и диспергирования при приготовлении бетонов

нарушенной структуре среды и на поверхностях (РО). Ход массообменных процессов вызывает диссипацию энергии деформации и тепла внутри системы, где наряду с физико-механическими явлениями, характеризующими макроуровень, присутствуют микроэффекты. Их характер определяется поверхностными силами, действующими в локальных объемах, силами взаимодействия между несущей фазой и дисперсиями (силы Архимеда, Стокса сила трения, силы Жуковского и Магнуса и т.п.), ходом химических реакций и молекулярно-кинетическими эффектами при диспергировании (разрушении) структурных элементов вещества [1].

Совокупность эффектов на макроуровне определяет энергонапряженность в МФХС, которая зависит от гидромеханических, напряженно-деформационных потоков и их характера, что непосредственно задается конструктивными особенностями и режимами работы смесительных и измельчающих агрегатов (КОСИА) (рисунок 3).

КОСИА – конструктивные особенности смесительных и измельчительных аппаратов; ПВМЭ – подвод внешней механической энергии; ВХПА – входные параметры активации; КЭДРО – кинетическая энергия рабочего органа; МехП – энергия механического переноса массы; ЭД – энергия, расходуемая на диспергирование; СМП – силы молекулярного



притяжения; СПЭ – свободная поверхностная энергия; РАЗР – эффекты разрушения частиц по дефектам макроструктуры; ОПИ – образование продуктов измельчения-диспергирования; С – образование плоскостей скольжения; ОУД – обеспечение упругих деформаций; ОПД – образование пластических деформаций; ТЭ – диссипация тепловой энер-

гии; АСОСВН – аккумуляирование энергии в структурно-обусловленной системе внутренних напряжений локальных объемов среды; ПМ – перенос массы; ПЭ – перенос энергии; ПИ – перенос импульса; Δ_T – градиент температуры; Δ_v – градиент скорости; ЭМФВ – электрические, магнитные, вибрационные и другие фоны воздействия; СМ – эффект сме-

шения; ИЭНТ – изменение энтропии сплошной и дисперсной фаз; МЭ – эффекты механоэмиссии; М – эффекты аморфизации и структурных преобразований; КЭ – кинетическая энергия при образовании осколков измельчения; ПФРЧ – плотности функций распределения частиц; ИМФС – изменение свойств межфазового состояния среды; ТР – формирование траектории движения среды; СТ – эффекты столкновения потоков; ТУР – образование турбулизации потоков; ФТПА – формирование топологии движения сред в объеме аппарата; ТРП – траектория переноса; ВО – время обработки среды; ККХП – качественные и количественные характеристики продукции; ФПТА – формирование поля температур в масштабе аппарата; ФМХ – изменение физико-механических характеристик среды (эффекты механо-физико-химической активации); Δ_{σ} – градиент скорости растворения.

Конструктивные особенности агрегата определяют связи 1, 2 – подвод внешней механической энергии (ПВМЭ) к (РО) и тепловые, электрические, магнитные и другие возмущения, вносимые с входящими параметрами для интенсификации или активизации процесса (ВхПА).

Подведенная внешняя механическая энергия к РО трансформируется в ходе рабочего процесса в другие виды [3]: кинетическую энергию движения рабочих органов (КЭДРО), обеспечивающую массоперенос в системе (МехП), диспергирование твердой фазы (ЭД) и обеспечение хода химических реакций – энергия активации (ЭА).

В качественном отношении энергетические затраты можно разделить на два потока:

- энергия, расходуемая на диспергирование (образование новых поверхностей). Этому служат первичные эффекты (ЭД и МехП) и их производные, обеспечивающие преодоление сил молекулярного притяжения (СМП), образования свободной поверхностной энергии (СПЭ), разрушение частиц мелкой фракции (РАЗР) и образование продуктов измельчения – диспергирования (ОПИ);

- энергия, потребляемая на обеспечение смешивания, – это, прежде всего, энергообеспечение упругих и пластических деформаций (ОУД) и (ОПД) по плоскостям раздела скольжения (С) и диссипация выделившейся при этом тепловой энергии (ТЭ), которая расходуется как на внутреннее и внешнее трение (МФХС), так и на аккумуляцию в структурно-обусловленной системе внутренних

напряжений (АСОСВН). Явления АСОСВН характеризуются дефектами структуры твердой частицы, которые могут накапливаться в дислокациях и способствовать возникновению разрыва структурной решетки и образованию микротрещин [16]. В случаях непрерывного диспергирования процесс роста и размножения микротрещин является необратимым, а энергия деформации отождествляется с поверхностной энергией микротрещин.

При крупном измельчении размеры дефектов и микротрещин ничтожно малы по сравнению с размерами измельчаемых частиц и разрушение последних происходит по поверхностям с наибольшими напряжениями с последующим раскрытием дефектностей высшего порядка. В рамках тонкого и сверхтонкого измельчения (диспергирования), когда размеры дефектов соизмеримы с размерами частиц, их количество, при той же объемной плотности микротрещин, незначительно. Поэтому получение новых поверхностей идет с образованием дефектов структуры более высшего порядка и требующих более высоких разрушающих напряжений на уровне микроструктуры объекта.

Образованные в результате диспергирования продукты (ОПИ) подвергаются воздействию вторичного механизма переноса массы (ПМ), энергии (ПЭ) и импульса (ПИ) – (связи 19, 20) отдельных частиц и несущей фазы.

На параметры переноса массы, импульса и энергии влияют температурные Δ_T и скоростные Δ_v неравновесности. При этом влияние температурной неравновесности может служить интенсификации роста трещин и поддержанию эффектов термодинамического измельчения [1]. Эффективность чисто термического измельчения незначительна, поэтому эффект влияния Δ_T следует рассматривать как облегчающий механическое разрушение, процессы изменения поровой влаги и являющийся природой диссипации тепловой энергии. Например, при температурных деформациях в покрытии автомобильной дороги [18]. Наличие температурной неравновесности между фазами изменяет кинетику процесса и способствует возбуждению химических проявлений в ультрадисперсных средах, таких технологий как порошковая металлургия, керамическая промышленность и др. [64]. Скоростные градиенты и пульсации Δ_v являются следствием макродиффузии – эффекты (С) и служат обеспечению процесса смешивания (СМ – связь 24). Процесс смешивания представляется как случайный с вариациями, характеризующими среду набором

показателей смесеобразования, например, степень сепарации (рисунок. 1). Эффекты Δ_T и Δ_v обеспечивают перенос энергии (связь 22). Поток энергии ПЭ изменяет содержание энтропии сплошной и дисперсной фаз (МЭНТ), которая определяет состояние физических, термодинамических, механохимических и других характеристик среды, т.е. вязкости, плотности, температуры, механо-физико-химической активности и других МФХ. Такие характеристики как механоэмиссия и механо-активация – МЭ, МА – обуславливаются эффектами ЭА, вызывающими возникновение молекулярно-кинетических и других явлений на уровне кристаллической решетки вещества. Эффекты аморфизации и структурных преобразований (ЭАСП) и кинетической энергии осколков (КЭ) продуктов диспергирования – активации [4]. Поток массы дисперсных фаз из (КЭ) – связь 37 – формирует плотности функций распределения числа частиц в локальном объеме ПФРУЮ, изменяющих механо-физико-химические характеристики перерабатываемой системы, что оказывает обратное влияние на эффекты Δ_T и Δ_v и ОПИ. Это условие отображается обратной связью 38 и может быть проиллюстрировано графиком на рисунке 1 в [3], т.е. служит наращиванию темпов обратных измельчению.

В том случае, когда система содержит химически активный компонент, в ней происходят эффекты растворения и образования новых структур, характеризующиеся неравновесностью поверхностно активной составляющей Δ_σ . Наличие флуктуаций Δ_σ способствует изменению эффектов пептизации, конденсации и растворения вещества, т.е. свойств его межфазного состояния (ИМФС).

Потоки импульса сил (ПИ) формируют траектории движения системы (ТР), т.е. линии тока (связь 41), возможность их столкновения (СТ) и последующее изменение потоков импульса и энергии в (ОС) – связи 43 и 44. Ограниченность геометрической формы корпуса аппарата способствует обеспечению турбулизации потоков (ТР) и приводит к формированию их топологии в масштабе общего объема ФТПА – связь 47. Изменение условий движения и характера гидродинамической структуры потоков ОС их траектории (ТРП) и времени обработки (ВО) влияет на количе-

ственные и качественные характеристики продукции (ККХП). Рассматривая процесс смешивания и диспергирования как необратимый и сложный механо-физико-химический следует учитывать, что эффективность макро- и микроэффектов зависит от формирования поля температур в масштабе аппарата (ФПТА), электрических, магнитных, вибрационных и других фонов (ЭМФВ), служащих для интенсификации процессов смешивания и диспергирования [5]. Каждый уровень структуры технологических процессов строительства может быть проанализирован по изложенной методике и описан соответствующей формой математической модели [3]. При этом конкретно протекающие процессы могут быть детализированы частной формой записи и рассмотрены как элементарные в условиях конкретно принятых ограничений. Например, чистое перемешивание, сухое измельчение материалов, уплотнение грунтов, активация многокомпонентных химически активных, либо инертных систем и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веригин Ю.А. Теоретические исследования кинематики и динамики движения загрузки в быстросходной шаровой мельнице с энергообменным устройством / Ю.А. Веригин, А.В. Сартаков // Известия вузов. Строительство. – 2001. – № 7. – С. 85-90.
2. Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов и др. – М.: Наука, 1976. – 508 с.
3. Веригин Ю.А., Веригина Я.Ю. Теоретические основы процессов измельчения вещества в технологии производства строительных материалов / Ползуновский вестник. – 2013. - № 4-1. – С. 51-54.
4. Молчанов В.И. Физико-химические свойства тонкодисперсных материалов / В.И. Молчанов, Т.С. Юсупов. – М.: Недра, 1981. – С. 100-112
5. Веригин Ю.А. Проблемы расчёта виброизмельчения тоодисперсных сред / Ю.А. Веригин, А.В. Сартаков // Известия вузов. Строительство. – 2001. – № 7. – С. 112-115.

Веригин Ю.А. – д.т.н., профессор, E-mail: xvergin2005@mail.ru; **Веригина Я.Ю.** – старший преподаватель, x.yanina@mail.ru, Алтайский государственный технический университет.