

О ПРОБЛЕМАХ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Ю. А. Веригин

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В работе приводятся определения строительной машины как самостоятельного объекта, обеспечивающего ход технологического процесса при производстве работ. Рабочий процесс машины во взаимодействии с перерабатываемой средой рассматривается как сложный, наследственно необратимый, подчиняющийся закономерностям неравновесной термодинамики. В закономерностях процесса присутствует комплекс физико-химических и механических воздействий, обеспечивающих передел исходного сырья в готовую продукцию, соответствующую качественным показателям по требованиям технологии.

Ключевые слова: машина, рабочий процесс, нелинейность, массоперенос, диспергирование, плоскости скольжения, диффузия, скорости взаимодействия, смешивание, оптимизация, термодинамика.

Современная эпоха характеризуется фундаментальными переменами как в науке и технологических принципах различных производств, так и в социальной сфере деятельности человечества.

Поэтому особо важным моментом является определение научной парадигмы, позволяющей интенсивно эволюционизировать средства механизации строительства.

Технологические процессы строительства, производства строительных материалов, гидротехники, металлургии, фармакологии и других отраслей, а также рабочие процессы строительно-дорожных машин и оборудования являются весьма энергоемкими и наследственно необратимыми, в закономерностях течения которых присутствует нелинейность.

К большому сожалению, существующие математические модели для описания и оптимизации подобных процессов созданы на линейной основе, где изменение одной независимой переменной величины непреложно приводит к изменению значения измеряемого параметра. Например, зависимости расхода энергии от объемов выпускаемой продукции при дроблении горных пород, производстве земляных работ и т.п.

Столь упрощенное представление реально сложных процессов не позволяет объединить и описать широкий круг разрозненных явлений, обнажить их глубинную сущность и оптимизировать процесс за счет совершенствования его физики, структуры, способа производства механических воздействий и расходовании энергоресурсов.

Нелинейность широко функциональна. В физике – это учет различного рода взаимодействий, необратимых явлений и тонких эффектов, не поддающихся описанию линейными моделями. В химии нелинейность описывает обратные связи в механизмах реакций. В биологии она отражает процессы жизненно важных процессов, необходимых для функционирования систем, борющихся за выживание. В технике и технологиях нелинейность же проявляется в многофакторности параметров машин, оборудования и сред, с которыми они взаимодействуют, а также многообразии явлений, происходящих в ходе производства рабочих операций.

Отсутствие обоснованного математического аппарата для теоретического описания сложных необратимых процессов в механизированных системах поставило многие отрасли технологической деятельности на уровень эмпирической линейности. Например, такие, как законы дробления, измельчения, бурения и переработки горных пород, закономерности смешивания при приготовлении строительных материалов, различные принципы оптимизации строительных технологий, термомодеформативных трансформаций фракционного состава структуры мерзлых грунтов и многие другие, которые развиваются под действием непрерывного потока негэнтропии, минуя состояния равновесия.

На сегодняшний день наиболее синтезирующей наукой, способной абсолютизировать рассматриваемую реальность, является термодинамика необратимых процессов синергетика. [1] Будучи молодой наукой, термоди-

намическая теория необратимых процессов уже нашла применение в биологии, астрофизике, метеорологии и др.

На ее основе стало возможным решение таких задач как:

1. установление корректной параметрической взаимосвязи в системе необратимых явлений и процессов, имеющих различную природу;
2. исследование поведения макроскопических технологических систем применительно к частным условиям.

В современном постиндустриальном обществе в технологическую (производственную) деятельность и научные разработки вовлечены миллионы людей, а результаты их работы определяют судьбы миллиардов жителей планеты. Поэтому вопросы совершенствования техники и технологий, методов проектирования и создания прогрессивных средств механизации требуют постоянного совершенствования, оптимизации и гармонизации в сфере взаимодействия с природой и ее ресурсами [2], так как они являются средством и методом жизни населения.

По современным оценкам специалистов Россия – самая загрязненная радиоактивными веществами сырьевая держава, «сидящая» на «газово-нефтяной игле» Мирового Торгового сообщества.

При этом наиболее крупной и глобальной проблемой признана энергетическая, которая должна решаться путем совершенствования и автоматизации производств, процессов потребления и строительства. Немало энергии может быть получено или сэкономлено за счет оптимизации технологий, рабочих процессов машин и оборудования и снижения их энергоемкости, т.е. за счет прогресса техники, где на первое место выдвигается машина.

В современном понимании машина – это устройство, выполняющее активную работу за счет преобразования энергии, материалов и информации с целью замены или облегчения физического и интеллектуального труда человека.

Каждая машина может быть представлена в виде кибернетической модели, состоящей из пяти блоков, обеспечивающих ее работоспособность. В их число входят – силовая установка (СУ); трансмиссия (Тр); система управления (СУп); движитель или ходовая часть (ХЧ) и рабочий орган (РО). Математическая модель машины выражается дифференциальным уравнением в виде

$$M \frac{dV}{dt} + K_{\text{ДЕМП}} \times V = P_T - W_{P.O.}$$

где $M(dV/dt)$ – инерционные характеристики машины; $K_{\text{ДЕМП}} \times V$ – динамические характеристики машины; P_T – тяговые возможности движителя; $W_{P.O.}$ – функциональные возможности рабочего органа машины; V – скорость движения машины; t – время рабочих операций.

Таким образом, каждая машина является преобразователем энергии и производителем негэнтропии из исходного сырья путем потребления невозобновляемых источников энергии – нефти, природного газа, угля, ядерного топлива и т.п.

Функционально однотипные машины – технические средства образуют отрасль техники (строительная техника, горные машины, транспортная техника, энергетические машины и т.п.). Объекты техники представляют собой открытые материальные системы, занимающие промежуточное положение между человеком и природой, взаимодействуя с ними и между собой.

Для определения закономерностей развития и совершенствования техники, технологий и процессов путем синергетического подхода необходимо определить качественно-количественные параметры состояния объекта как открытой материальной системы во взаимосвязи рабочий орган машины, перерабатываемая среда как готовая продукция.

К таким параметрам можно отнести: показатели эффективности (энергоемкость, металлоемкость, удельную производительность и др.); критерии развития (характеристики силовых и скоростных режимов по поверхности контакта рабочих органов машин с объектом переработки); внутренние факторы, характеризующие напряжения в элементах машин, и события, возникающие внутри перерабатываемой среды (тепловые, физические, химические и т.п.), и внешние факторы, определяющие внешний фон и условия организации процесса, эргономические требования к технике, технологиям и др.

Теоретические решения оптимизации параметров средств механизации, конструкций машин и их рабочих органов должны базироваться на трех направлениях внутреннего развития:

- интенсификация рабочего процесса (увеличение режимных параметров – скоростей, силовых характеристик, форм движения системы «среда – рабочий орган машины» и

т.п.) за счет применения новых физических эффектов, материалов, способов воздействия на перерабатываемую среду с целью оптимизации процесса ее переработки;

- изменение физико-механики функционирования системы «среда – рабочий орган машины» (конфигурация, характеристики, сочетание различных форм воздействия и др.);

- изменение состава и структуры системы «среда – рабочий орган машины».

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 термолитиза, либо разрушение внутренних связей вещества и т.п., обеспечивающие выполнение технологических требований к готовой продукции.

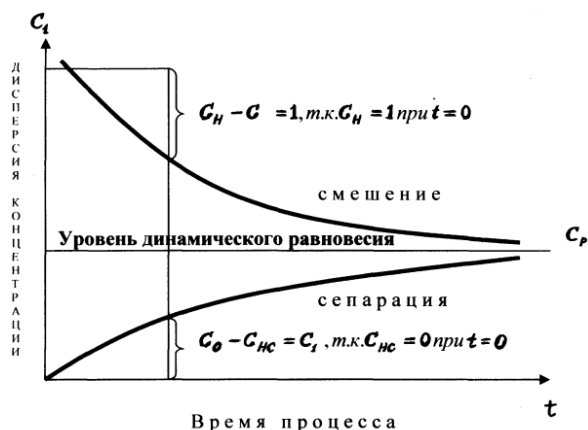
Подобное явление характерно для несамоорганизующихся сложных, наследственно необратимых систем [3], основными признаками которых является их развитие на основе внутренних противоречий, активизирующихся за счет источников энергии и негэнтропии, подаваемых на вход системы «среда – рабочий орган».

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. Это требует корректности при выборе технологического оборудования и определении его эксплуатационных параметров.

При математическом анализе структуры технологических процессов строительства, следует отметить, что наиболее предпочтительными параметрами порядка, приводящими перерабатываемую среду в неустойчивое состояние являются:

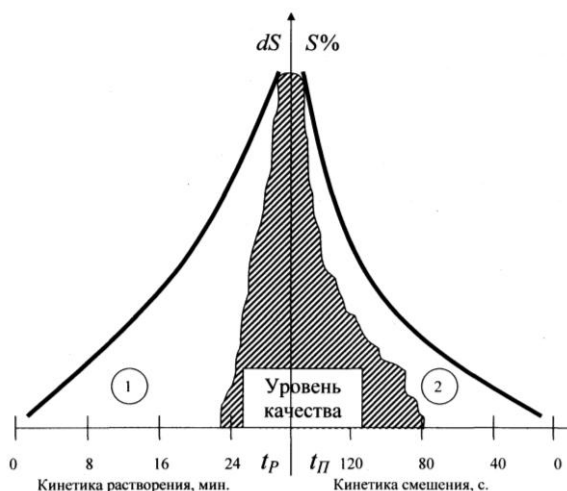
- эффекты, обеспечивающие явления массопереноса, диффузии и смешения (перемещения макро- и микрообъемов);

- эффекты образования плоскостей скольжения, упругих и пластических деформаций с последующим разрушением структурных ансамблей и проявлением отягощенной наследственности химически активных компонентов к стехиометрическим реакциям.



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



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

Для описания процесса подобного уровня могут быть использованы гидромеханические модели, основанные на представлениях о взаимопротекающих многоскоростных континуумах, возникающих при измельчении и смешивании дисперсных фаз с образованием гомогенных коллоидных систем [4].

Процесс переноса элементарных масс dm_k или dV_k объемов со скоростью dv_i под действием рабочего органа, движущегося с частотой n , создает импульс массообменных операций и может быть представлен параметрическим соотношением в виде

$$\Pi = dv_i(r, t) dm_k Z_i(t), \quad (i = 1, 2 \dots a+1), \quad (1)$$

где v_i – средняя скорость изменения полевых координат движущихся элементов среды за время t ; $Z_i(t)$ – периодическая функция, например, число лопастей, частота вращения рабочего органа и т.п.; i – соответствующий компонент среды; a – число фаз среды в системе при условии, что первый индекс относится к несущей фазе.

Перенос макрообъемов среды нарушает ее сплошность, следствием чего является разрушение структур с образованием плоскостей скольжения (сдвига) по поверхности раздела объемов dV_k .

Возникшая ситуация способствует локальному аннулированию сил межфазного взаимодействия, образованию плоскостей скольжения по контуру элементарных объемов тел, например, флокул новообразований в цементах – сросшихся ансамблей частиц ультрадисперсной фазы и т.п. или снятию новообразований с поверхности зерна реагента.

Особенностью воздействия является наведение упругих и пластических деформаций в изменяющихся границах разрушаемого микрообъема при одновременном сохранении массы.

Смещение среды (С) можно представить в интегральной форме уравнением движения континуума

$$C = d\rho_i dF + \nabla P = \frac{dv_i}{dt} d\rho_i, \quad (2)$$

где $d\rho_i$ – плотность элемента среды; dF – внешнее воздействие; ∇P – тензор напряжений в движущемся потоке среды; $\frac{dv_i}{dt}$ – уско-

рение действия силы по поверхности континуума $d\rho_i$.

Деформационные процессы происходят на фоне непрерывной диффузии, физико-механических превращений и необратимых преобразований структуры активных компонентов и несущей фазы в дисперсную среду – матрицу.

Вследствие этого проявляется интенсивная пептизация, накопление продуктов химико-физического синтеза и образования неравновесной структуры технологически переработанной среды, например, получение цементного теста в технологии бетона.

Диффузионные процессы такого рода можно описать уравнением баланса массы в химически активных системах

$$D = \sum_{j=1}^R v_{kj} J_j, \quad (3)$$

где v_{kj} – стехиометрический коэффициент, учитывающий характер химических превращений компонентов; J_j – плотность потока диффузии

$$J_j = \rho_k \cdot \omega_k;$$

ρ_k – плотность k -го компонента среды; ω_k – скорость диффузии.

В рассматриваемой системе происходит столкновением частиц i -ой фазы среды объемом dV_i с рабочими органами аппарата (лопастями, ротором, шарами и т.п.) и друг с другом. В результате происходит механическое измельчение – диспергирование.

Проявившаяся при этом движущая сила разрушения $X_{разр}$, может быть записана как

$$X_{разр} = \frac{1}{T} \left[d\rho_i dV_i (F_i - F_r) + d\rho_i dV_i \frac{(v_2 - v_1)^2}{2} \right], \quad i = 2, 3 \dots a+1, \quad (4)$$

где T – температура несущей фазы; F_r , F_i – удельная (на единицу массы) свободная энергия Гельмгольца несущей и i -ой дисперсной фазы; v_2 , v_1 – среднемассовые скорости несущей фазы и i -ой дисперсной фазы.

Полный комплекс механо-физико-химических воздействий рабочего органа на среду, обозначенный как M_B , т.е. технологический оператор можно выразить системой уравнений в следующем виде

$$M_B = \begin{cases} PK_{\Pi} = K_{\Pi} dv_i(r_i, t) dm_k Z_i(t) \\ CK_C = K_C \frac{dv_i}{dt} d\rho_i \\ DK_D = K_D \sum_{j=1}^R v_{kj} J_j \\ X_{РАЗР} K_{ДИС} = K_{ДИС} \frac{1}{T} \left[d\rho_i dV_i (F_i - F_r) + \right. \\ \left. + d\rho_i dV_i \frac{(v_i - v_r)^2}{2} \right] \end{cases}, \quad (5)$$

где $K_{ДИС}$, K_D , K_C , K_{Π} – коэффициенты, указывающие на степень влияния формы и вида воздействия в зависимости от принципа работы аппарата и состава компонентов перерабатываемой среды.

При этом K_{Π} – массоперенос; K_C – образование плоскостей скольжения; K_D – диффузионные эффекты; $K_{ДИС}$ – диспергирование.

$$K_{ДИС} + K_D + K_C + K_{\Pi} = 1. \quad (6)$$

Условие (6) означает конкурентность эффектов при переработке среды, т.е. при определенных значениях коэффициентов механизм воздействия может характеризовать частные условия процесса переработки сред. Например, сухому перемешиванию и диспергированию соответствуют $K_D = 0$ и т.д.

В общем случае при технологическом переделе различного сырья в готовую продукцию интенсивность механизмов воздействия M_B , а, следовательно, и скорость процесса изменения энтропии определяются частотой смены событий Π , C , D , $X_{РАЗР}$, а также длительностью их воздействия.

Перерабатываемая среда рассматривается как потребитель энергии привода.

Таким образом, составленная структурно-семантическая модель иерархии процессов смешивания и диспергирования и первичная модель механизма воздействия M_B позволяет создать аналогичную методику анализа и моделирования процессов строительства в системах любой сложности с тем, чтобы сформировать стратегию и идеологию разработки частных математических моделей и обеспечить управление качеством продукции с позиции оптимизации рабочего процесса машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Путь в синэргетику. Экскурс в десяти лекциях / Б. П. Безручко, А. А. Короновский. – М. : Ком. книга, 2005. – 304 с.
2. Веригин, Ю. А. Экологическое право России: курс лекций / Ю. А. Веригин, О. В. Ударцева. – Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2005. – 268 с.
3. Веригин, Ю. А. Энергетический анализ рабочих процессов и оборудования в строительстве / Ю. А. Веригин, Я. Ю. Веригина // Ползуновский альманах. – 2016. – № 1. – С. 63-67.
4. Веригин, Ю.А. Развитие теоретических представлений о законах измельчения вещества механическим способом / Ю. А. Веригин, Я. Ю. Веригина // Ползуновский альманах. – 2016. – № 1. – С. 59-63.

Веригин Ю.А. – д.т.н., профессор кафедры «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: xvergin2005@mail.ru.