

УДК 691.342: 004.942

Т.Н. Панова, химик-аналитик,
А.В. Андросюк, магистр,
Е.Ю. Лебедева, магистр,
Одес. нац. политехн. ун-т

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАПОЛНЕНИЯ ОСНАСТКИ ГЕТЕРОГЕННЫМ МАТЕРИАЛОМ

Т.М. Панова, А.В. Андросюк, О.Ю. Лебедева. **Моделювання процесу заповнення оснастки гетерогенним матеріалом.** Запропоновано систему технічної діагностики, засновану на динамічній марківській моделі процесів переміщення компонентів гетерогенних матеріалів при їхньому зберіганні, обробці, перемішуванні, транспортуванні, заповненні ними ливарних форм, що дозволило знизити невиробничі витрати технологічних сумішей та їх компонентів, а також підвищити якість продукції, що випускається.

Ключеві слова: гетерогенні матеріали, технічна діагностика, моделювання, процес переміщення компонентів.

Т.Н. Панова, А.В. Андросюк, Е.Ю. Лебедева. **Моделирование процесса заполнения оснастки гетерогенным материалом.** Предложена система технической диагностики, основанная на динамической марковской модели процессов перемещения компонентов гетерогенных материалов при их хранении, обработке, перемешивании, транспортировке, заполнении ими литейных форм, что позволило снизить непроизводительные потери технологических смесей и их компонентов, а также повысить качество выпускаемой продукции.

Ключевые слова: гетерогенные материалы, техническая диагностика, моделирование, процесс перемещения компонентов.

T.N. Panova, A.V. Androsiuk, E.U. Lebedeva. **Simulation of the heterogeneous materials equipment filling process.** The system of technical diagnostics based on the dynamic Markov model of heterogeneous materials components conveyance processes at their storage, processing, hashing, transportation, casting molds filling, is offered that has allowed to lower non-productive losses of technological mixtures and their components, as well as to raise the quality of production output.

Keywords: heterogeneous materials, technical diagnostics, simulation, the process of components conveyance.

Наиболее ответственным этапом технологического процесса изготовления изделий из композиционных материалов является заполнение формообразующей оснастки: опалубки, литейной формы и т.п. На этом этапе закладываются основные показатели качества готового изделия, определяется, будет ли оно годным, закладываются его свойства, внешний вид. Поэтому реологические характеристики исходной смеси существенно влияют на перечисленные показатели [1].

В то же время, реология композиционных материалов, как правило, не может быть описана ни законами гидравлики, ни моделями, применяемыми в механике грунтов для сыпучих материалов, поскольку, зачастую такие исходные гетерогенные смеси содержат разнородные по размерам, конфигурациям, агрегатным состояниям компоненты, которые в процессе перемешивания и перемещения изменяют основные физические свойства, например, вязкость.

Основной проблемой при разработке технологии изготовления изделий из гетерогенных материалов с существенно различающимися компонентами (бетоны и железобетоны, синтегран и т.п.) является отсутствие адекватных структурных имитационных моделей, на входе которых — характеристики процессов перемешивания таких материалов, заполнения ими соответствующих форм, а также процессов их химического либо физического затвердевания, а на выходе — структурозависимые свойства будущих изделий: плотность, пористость, воздухо- и влагонепроницаемость, изотропность, прочность, ударная вязкость, способность к вибропоглощению и др.

Существующие структурные модели взаимопроникающих компонентов гетерогенных материалов представляют собой, чаще всего, трехмерный объем, заполненный параллелепипеда-

ми различных размеров, моделирующими твердые компоненты смеси, и свободным пространством между этими параллелепипедами, моделирующим поры [1, 2]. Недостатки такого представления: несоответствие формы реальных компонентов параллелепипедам; их взаимная неподвижность, что исключает моделирование реологии; отсутствие учета изменения внешних воздействий на компоненты; отсутствие учета изменения физических свойств гетерогенных материалов в процессе перемещения.

Известны из литейного производства модели, в которых учитывается перемещение масс исходных материалов под действием внешних сил, но и их возможности весьма ограничены, т.к. они не учитывают существенные разнородности размеров элементов исходных материалов [3, 4]. Модели, применяемые в механике грунтов, также, к сожалению, не учитывают изменение свойств, происходящих со связующими материалами исходных смесей при их затвердевании [5, 6]. Развивающееся в последнее время представление о структурных превращениях, основанное на математическом аппарате марковских процессов, требует “обучения” модели на реальных событиях, т.к. реальные значения вероятностей марковских переходов должны коррелировать с фактическими событиями, происходящими при течении гетерогенных сред [7, 8].

Для решения подобного рода задач предлагается использовать динамическую марковскую модель заполнения пространства форм, учитывающую последующее уплотнение формы под действием разнообразных сил — гравитации, вибрации, центробежных и т.д.

Как известно, реология исходных композиционных материалов, используемых при изготовлении изделий в строительстве, машиностроении и др., осложняется тем, что такие материалы зачастую содержат компоненты, в трех агрегатных состояниях — твердом, жидком, газообразном, причем как сами состояния, так и соответствующие этим состояниям свойства многих компонентов изменяются во времени.

Так пусть двумерная модель мгновенного состояния гетерогенной смеси имеет вид, представленный на рис. 1. На этом рисунке отдельная песчинка смеси соответствует одному квадрату сетки (рис. 1, а), один крупный элемент (например, кусок гравия) — постоянному сообществу таких клеток (рис. 1, б...д), а жидкости и газы, заполняющие поры между песком и гравием, представляют собой оставшееся пространство, условно разделенное на клетки того же размера.

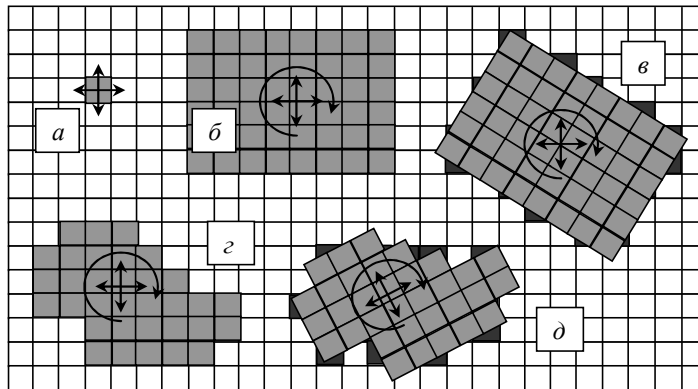


Рис. 1. Схема дискретизации пространства, заполненного моделями фракций композиционного материала

Будем считать, что состояния системы изменяется при перемещении хотя бы одного ее элемента. Модель перемещения выглядит следующим образом: элемент с некоторыми свойствами исчезает в заданной клетке, элемент с таким же (для твердого или газообразного) или измененными (для жидкого) свойствами появляется в одной из четырех соседних ортогонально расположенных клеток. Перемещение (поступательное, вращательное) каждого элемента сообщества таких клеток должно происходить совместно: на одну величину и в одном направлении. Поворот одноклеточного элемента в модели не предусмотрен, а поворот сообщества эле-

ментов приводит к его распространению на те клетки, где перекрытие исходной сетки превышает 50 % ее площади (рис. 1, в, д).

Движение каждого элемента может происходить при наличии следующих обстоятельств:

- внешние силы достаточны для перемещения;
- пространство в направлении действующей силы, куда может переместиться моделируемый фрагмент, свободно или легко освобождается.

Если для перемещения элемента или элементов должно быть освобождено место для его (их) новой позиции от элементов других компонентов, то осуществляется расчет необходимой величины внешней энергии, затрачиваемой на преодоление сопротивления перемещению уже размещенных элементов.

В соответствии с приведенными представлениями, каждый квадратный элемент сетки может находиться в следующем состоянии: заполнен газом (“пустой”); заполнен твердым телом (песчинка, фрагмент гравия); заполнен жидкостью (связующее — смола, цементный раствор — до затвердевания).

Марковская модель процесса изменения состояния ячейки представляет собой граф, в основании которого — одно из исходных состояний: ячейка, заполненная воздухом, песчинкой, фрагментом гравия, связующим (рис. 2, а, б, в, г, соответственно).

Любое изменение структуры осуществляется в результате перехода, происходящего с той или иной степенью вероятности, в значении которой включаются перечисленные внешние воздействия и свойства материалов смеси. С помощью марковской модели на каждом шаге моделирования определяются все возможные состояния после каждой операции, вероятности перехода к этим состояниям и статистические характеристики времени, необходимые для завершения перехода.

Вязкость твердого состояния принимается равной бесконечности, вязкость газообразного — нулю, а вязкость жидкого состояния определяется на каждой итерации моделирования в зависимости от реальных химических процессов твердения связующих — образование нерастворимых гидросиликатов цемента, поликонденсации смол и т.д.

В результате использования предложенной модели получены соотношения, связывающие реологические характеристики исходных смесей, параметры механизма их твердения, параметры внешних воздействий с технологически важными характеристиками технологического процесса.

Литература

1. Дульнев, Г.Н. Процессы переноса в неоднородных средах / Г.Н. Дульнев, В.В. Новиков. — Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 248 с.
2. Дульнев, Г.Н. Теплопроводность смесей композиционных материалов / Г.Н. Дульнев, Ю.П. Заричняк. — Л.: Энергия, 1974. — 264 с.
3. Становский, А.Л. Схемотехническое моделирование переноса в анизотропных средах / А.Л. Становский, Г.В. Кострова, Т.В. Лысенко // Материалы 4-й Укр. конф. по автоматическому управлению “Автоматика — 1997”. — Черкассы: ЧИТИ, 1997. — С. 73.
4. Кострова, Г.В. Схемотехнічне проектування у машинобудуванні / Г.В. Кострова, Т.В. Лисенко, О.Л. Становський. — Одеса: ОДПУ, 1994. — 147 с.
5. Орнатский, Н.В. Механика грунтов / Н.В. Орнатский. — М.: МГУ, 1950. — 420 с.
6. Николаевский, В.Н. Механика насыщенных пористых сред / В.Н. Николаевский, К.С. Басниев, А.Т. Горбунов. — М.: Недра, 1970. — 339 с.

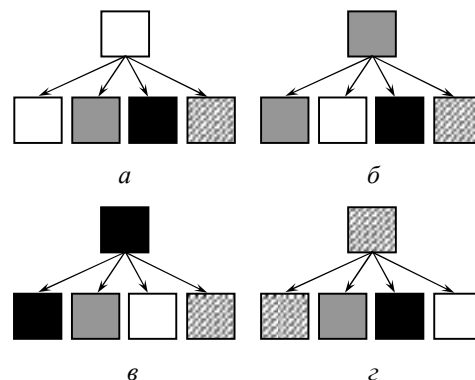


Рис. 2. Схема марковских переходов в состоянии ячейки модели: — “пустота” (заполнена воздухом); — заполнена песчинкой; — заполнена фрагментом гравия; — заполнена связующим

7. Кельберт, М.Я. Вероятность и статистика в примерах и задачах. В 2 т. Т. 2: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения / М.Я. Кельберт, Ю.М. Сухов. — М.: МЦНМО, 2009. — 588 с.
8. Байхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен. — М.: Радио и связь, 1988. — 392 с.

References

1. Dul'nev, G.N. Protsessy perenosa v neodnorodnykh sredakh [Transfer processes in inhomogeneous media] / G.N. Dul'nev, V.V. Novikov. — Leningrad, 1991. — 248 pp.
2. Dul'nev, G.N. Teploprovodnost' smesey kompozitsionnykh materialov [Thermal conductivity in composites mixtures] / G.N. Dul'nev, Yu.P. Zarichnyak. — Leningrad, 1974. — 264 pp.
3. Stanovskiy, A.L. Skhemotekhnicheskoe modelirovanie perenosa v anizotropnykh sredakh [Schematic transfer modeling in anisotropic media] / A.L. Stanovskiy, G.V. Kostrova, T.V. Lysenko // Materialy 4-y Ukr. konf. po avtomaticheskomu upravleniyu "Avtomatika — 1997" [Materials of the 4-th Ukr. Conf. on automatic control "Automation — 1997"]. — Cherkassy, 1997. — P. 73.
4. Kostrova, H.V. Skhemotekhnichne proektuvannya u mashynobuduvanni [Schematic design in mechanical engineering] / H.V. Kostrova, T.V. Lysenko, O.L. Stanovskiy. — Odesa, 1994. — 147 pp.
5. Ornatskiy, N.V. Mekhanika gruntov [Soil mechanics]. / N.V. Ornatskiy. — Moscow, 1950. — 420 pp.
6. Nikolaevskiy, V.N. Mekhanika nasyshchennykh poristykh sred [Saturated porous media mechanics] / V.N. Nikolaevskiy, K.S. Basniev, A.T. Gorbunov. — Moscow, 1970. — 339 pp.
7. Kel'bert, M.Ya. Veroyatnost' i statistika v primerakh i zadachakh. V 2 t. Т. 2: Markovskie tsepi kak otpravnyaya tochka teorii sluchaynykh protsessov i ikh prilozheniya [Probability and statistics in patterns and problems. In 2 vol. Vol.2: Markov chains as a starting point in random processes theory and their applications] / M.Ya. Kel'bert, Yu.M. Sukhov. — Moscow, 2009. — 588 pp.
8. Baykhel't, F. Nadezhnost' i tekhnicheskoe obsluzhivanie. Matematicheskiy podkhod [Reliability and maintenance. Mathematical approach] / F. Baykhel't, P. Franken. — Moscow, 1988. — 392 pp.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Тонконогий В.М.

Поступила в редакцию 14 декабря 2010 г.