

# Инженерное обеспечение основных технологических процессов в производствах пищевых добавок, ингредиентов и концентратов

*В.Е. Зеленский*, д-р. -инж., канд. техн. наук, эксперт по процессам перемешивания  
Санкт-Петербургский Государственный Технологический Институт (Технический Университет)  
ЗАО «Гиорд»



Подготовка специалистов для пищевой промышленности в России началась в первые годы XX в. в Санкт-Петербургском Практическом Технологическом Институте Императора Николая I, Харьковском Технологическом Институте, Московском коммерческом институте, Московском Высшем техническом училище, Киевском и Донском Политехнических Институтах. Однако, именно Технологический Институт стал первой школой, где в начале XX в. были разработаны основы процессного инжиниринга – интегрированного научно-инженерного и инженерно-управленческого инструмента, сущность которого базируется на отдельных сторонах знаний в области организации производства; процессов и аппаратов, законов физических и химических явлений переноса энергии и массы, химических превращений, термодинамики, физической химии и механики.

Современные пищевые, биотехнологические и химические производ-

« ... Желая способствовать распространению и прочному устройству мануфактурной промышленности в империи нашей, признали Мы заблаго учредить в Санкт-Петербурге Практический Технологический Институт ... »

28 ноября 1828 года  
НИКОЛАЙ I

ства, предприятия отрасли ингредиентов оснащены различными аппаратами, в которых осуществляются сложные технологиче-

ские процессы превращения исходных материалов в конечные продукты. Наряду с химическими превращениями в таких процессах могут протекать и физические, и физико-химические явления, при которых сырье претерпевает изменения агрегатного состояния, внутренней структуры и состава. Технологические процессы в промышленности группируются по основным характерным признакам и описываются общими закономерностями протекающих явлений: холодильных, тепловых, диффузионных, химических, гидродинамических и механических. Интегрированные знания об особенностях этих процессов служат базой для осознанной деятельности в любом направлении пищевого, биотехнологического или химического производства.

Рассматриваемый инструмент (процессный инжиниринг) ориентирован на надлежащую (правильную) практику организации производства, совершенствование технологических процессов, использование особенно-

стей режимов протекающих явлений с позиций повышения качественных показателей при достижении целевого технологического эффекта, воспроизводимости параметров и результатов процессов, оптимального аппаратного оформления, энерго- и ресурсосбережения. При этом важной составляющей представляется учет факторов пожаро- и взрывоопасности, экологической безопасности, наличия вредных производственных факторов, минимизации отходов и производственных потерь, особенностей управления (регулирования) и автоматизации. Процессный инжиниринг актуален для современного бизнеса любого уровня – от малого предпринимательства до ТНК, поскольку он помогает экономично использовать ресурсы, организовать, управлять и оптимизировать производственную деятельность. Ключевую роль данный инструмент также играет в реализации функций R&D (исследования, разработка продукции, постановка на производство, ведение комплекса работ бизнес-проектов по продуктовым платформам). Здесь следует особо отметить важность аспектов масштабирования и корректности переноса модели разработ-

ки или технологического процесса на функционирующее пилотное или тоннажное производство. Использование междисциплинарного опыта и знаний применительно к технологическим, техническим и управленческим задачам позволяет также выявлять и ликвидировать «узкие» места производственной деятельности, наладить выпуск реально высококачественной продукции, что является, в большинстве случаев, исключительной компетенцией организации и ее коллектива и дает ей, в конечном итоге, значительные конкурентные преимущества.

Рассмотрение технологических решений в отрыве от детализации аспектов аппаратного оформления, анализа возможностей технических систем в конкретных условиях и с конкретными характеристиками обрабатываемых сред – несомненная системная ошибка сложившейся в середине XX в. отечественной технологической практики. Из бизнес-опыта известно, что технологи не знают возможностей оборудования, областей его наиболее эффективного функционирования, физических основ процессинга; механики не ориентируются в химических и иных вопросах технологии производства продукции; конструкторы не знают ни того, ни другого; а производственный персонал вообще относится к категории без углубленного и системного, а зачастую и без профильного образования. Факты свидетельствуют: даже имея богатый опыт, ключевой специалист предприятия не может эффективно решать поставленные задачи и возникающие проблемы. Низкое качество отечественной продукции различных отраслей и экономическая неэффективность предприятий в последние 60 лет отчасти как раз и связаны с ограниченным использованием достижений и опыта именно в области процессного инжиниринга: тепло-массообмена, гидродинамических, механических и химических процессов. Никакой иной альтернативы и особого пути нет – развитие мировой промышленности свидетельствует, что только применение научных и инженерных инноваций позволяет эффективно функционировать предприятию в

активной высококонкурентной среде современной экономики.

Бурное развитие в последнее десятилетие отрасли ингредиентов, сопровождающееся становлением новых отечественных производств, постепенно стимулирует применение современных технологий, процессов и оборудования. Однако тот факт, что более 90 % пищевых добавок и ингредиентов производится за рубежом и поставляется в страну в готовом виде или в формах инновационных монокомпонентов, существенно сдерживает их технологическое и инженерное развитие. Можно констатировать, что большинство отечественных производств носит так называемый «сборочный» характер, где преобладающими являются технологии смешивания веществ. Однако, простейшие технологические решения уровня примитивной «комбинаторики» безвозвратно отходят в прошлое, поскольку уже не соответствуют требованиям рынка. Потребителям нужны эффективные высокотехнологичные комплексные продукты и добавки, а не банальные смеси с сомнительными технологическим эффектом и качеством. Стоит также отметить, что разработчиками зачастую упускается из виду вопрос целостного восприятия разрабатываемого или производимого ими продукта (пищевой добавки) как активного вещества с целевой технологической функцией и конкретными физико-химическими свойствами. Именно команда технологов – процессионщик, химик и пишевик – позволяет успешно решать задачи и совмещать разносторонние научно-инженерные знания и практический отраслевой опыт. Отсутствие комплексного восприятия продукта приводит к технологическим и производственным ошибкам, неверному выстраиванию торговой концепции продукта. Здесь стоит еще раз напомнить и дополнительно подчеркнуть, что продукты отрасли ингредиентов обычно представляют собой порошки или грануляты, простые жидкости или суспензии, эмульсии, растворы. Важно не только придумать продукт, важно сохранить суть идеи до конца, проходя все стадии и циклы: от предварительного маркетингового исследования через постановку продукции

на производство до финальной оценки коммерческого успеха готового продукта на ингредиентном рынке. Ведь результатом работы является определенный товар с конкретными физико-химическими характеристиками, а не абстрактный объект, наделенный некоторой идейной сущностью.

Процессы смешивания, перемешивания, диспергирования, гомогенизации, и ряд других широко распространены на зарубежных и отечественных производствах пищевых ингредиентов, концентратов, добавок, ароматизаторов, технологических вспомогательных средств. Несмотря на кажущуюся простоту этих процессов, они представляют собой сложные физические явления и далеко не все стороны их организации освоены и оптимизированы. Достаточно часто в производственной и лабораторной практике именно эти процессы организованы и осуществляются не то чтобы не самым должным образом, а наоборот, самым неправильным. Проблемы с качеством продуктов в ряде случаев обусловлены не только объективными причинами – недоработками при разработке или производстве товара, или низким качеством сырья, но и скрытыми факторами, такими, например, как естественная физическая неоднородность композиций, наличие агломератов и примесей, проявление сегрегации под воздействием ряда внешних и внутренних факторов, самопроизвольное гранулирование, нарушение норм химической и микробиологической чистоты и др. В результате происходит значительное ослабление требуемого целевого технологического эффекта или его достижение становится вообще невозможным, в итоге выпускается недоброкачественная продукция или откровенный брак. При этом вопросы нанесения вреда экологии человека вообще должны быть вынесены на дополнительное рассмотрение и стать аспектами надлежащей производственно-технологической практики и обеспечения безопасности продукции. Так или иначе, но процессы смешивания и перемешивания были и остаются одними из основных технологических процессов пищевой промышленности и ингредиентной отрасли.

При смешивании сыпучих материалов движущей силой процесса выступает разность концентраций компонентов в рабочем объеме аппарата или во времени при непрерывном ведении процесса. Как при периодическом, так и при непрерывном смешивании целью является достижение максимально возможной степени однородности композиции, свойственной данной технической системе «среда – организация процесса – аппарат». В ходе периодического цикла производства в аппарате происходит смешивание фиксированного количества компонентов, при этом одновременно протекает несколько элементарных явлений: конвективное смешивание – или перенос компонентов в объеме аппарата; диффузионное смешивание – или перемещение единичных частиц различных компонентов относительно друг друга; естественная сегрегация – разделение композиции ввиду различной природы частиц. При непрерывном смешивании осуществляется одновременная подача компонентов и выгрузка готовой смеси. Аппараты периодического действия подавляют начальную пространственную неоднородность композиции, аппараты непрерывного типа также подавляют начальную пространственную неоднородность композиции, но не подавляют временную неоднородность, которая связана с пульсациями расхода компонентов ввиду особенностей работы питателей. Грамотная организация процесса, аппаратурной обвязки и автоматизации нивелирует временную неоднородность. Причем у каждого конструктивного типа смесителей (независимо от варианта периодичности его функционирования) есть наиболее целесообразная область применения. Невозможно решать разные технологические задачи по смешиванию в аппаратах одного конструктивного типа.

Перемешивание жидких сред – не менее сложная задача, поскольку в большинстве случаев преследуется ряд целей: интенсификация процессов тепло-массообмена, перемешивание вязких сред или распределение дисперсных фаз (несмешивающихся

жидкостей, газа, твердых частиц). Механизмы этих процессов сложны и характеризуются большим числом параметров, которые зависят от свойств рабочей среды, способов организации процесса и типа рабочих органов, осуществляющих передачу энергии. Анализ происходящих при этом явлений невозможен без понимания сущности акта образования дисперсных фаз в конкретных условиях. В ряде случаев требуется минимальная интенсивность перемешивания (низкая скорость перемешивания, блендинг). Однако в большинстве технологических процессов необходимо обеспечение высокой интенсивности перемешивания (высокая скорость перемешивания, миксинг, диспергирование, эмульсификация, гомогенизация). Дробление капель или пузырей происходит при одновременном действии нескольких механизмов диспергирования, в основе которых лежат физические закономерности механики неоднородных сред и турбулентных течений. Характер рассева энергии в среде с учетом конструктивных особенностей аппарата и среды оказывает непосредственное влияние на достижение целевого технологического эффекта. При этом необходимым условием эффективного протекания процессов диспергирования является достижение максимально возможного однородного распределения дисперсных фаз в объеме аппарата. Разумеется, что оно не однородно по всему объему и имеет некоторые ключевые локальные точки, характеризующие и определяющие протекающие процессы и явления. Именно они определяют итоговую эффективность диспергирования, обеспечивающего максимальную поверхность контакта фаз и минимальные размеры капель или пузырей, условия распределения или разрушения твердых частиц в конкретной технологической обстановке. Необходимыми условиями реализации процессов в емкостных аппаратах служат: отсутствие осадка твердых частиц на днище аппарата, отсутствие зонирования объема по газовой фазе, подведение необходимого количества энергии для обеспечения дробления капель или пу-

зырей, диспергирования твердой фазы. Указанные условия реализации процессов достигаются в различных обстоятельствах при применении разных конструктивных схем аппаратов и типов перемешивающих устройств.

На рубеже XX-XXI вв. стало очевидным, что эпоха типового оборудования уходит в прошлое, внося свой положительный вклад в разработку аппаратуры. Будущее, все-таки, остается за эксклюзивной техникой, поскольку она создает наилучшие условия достижения целевого технологического эффекта, которые возможно обеспечить с учетом конкретных условий и особенностей технологических процессов. Тем не менее, увлеченность аппаратурными изысками также имеет свои границы. В частности, создание новых типов механических перемешивающих устройств, их модификаций и конструкций потеряло свою актуальность и носит уже конъюнктурный и рекламно-имиджевый характер. Практика показывает, что в действительности многие задачи могут быть успешно решены путем применения ограниченного числа конструкций мешалок, простых в изготовлении и имеющих конкретные области работы. Немаловажным фактором является и качество изготовления оборудования. К сожалению, можно констатировать, что рынок оборудования в РФ наводнен некачественной продукцией: аппаратура не соответствует требованиям надлежащего качества и даже стандартам ушедшей в небытие эпохи, ряд конструктивных решений просто игнорирует базовые физические закономерности осуществления основных технологических процессов, применяются устаревшие и неэффективные типы перемешивающих устройств, завышены мощности установленных приводов, аппараты не обеспечивают требуемых режимов работы, игнорируются рекомендации GMP, нормы пожаро-взрывобезопасности, пыле-влагозащиты и другие факторы – вплоть до неудобства эксплуатации и ремонтпригодности отдельных узлов и деталей. Нередки случаи применения некачественного металла и даже отличия изготовленного оборудования от согласованных чертежей. Разумеется, в таких условиях становит-

ся затруднительным прогнозирование протекающих процессов и обеспечение качества готовой продукции. Именно возможности расчета, пилотного моделирования, знания нюансов поведения среды и его прогнозирование позволяют достигать требуемых результатов и обеспечения надлежащей производственно-технологической практики. Именно этим и силен инструментарий процессного инжиниринга – независимо от сферы его применения – организация ли это производства или отраслевое машиностроение.

Следует подчеркнуть, что решение конкретных технологических задач осуществляется путем целенаправленного выбора наиболее подходящего для конкретных условий конструктивного типа аппарата (емкостной, проточный, циркуляционный, локально-встроенный, пульсационный, вибрационный или иной). К сожалению, ни зарубежная, ни отечественная инженерная практика не создали четкого описания предельных границ применимости тех или иных агрегатов и технических систем, что и невозможно в настоящее время ввиду большого количества частных практических случаев. Решение вопроса аппаратного оформления технологических процессов, как правило, лежит в зоне профессиональной ответственности специалистов именно в сфере конкретных процессов и соответствующего инженерно-аппаратурного обеспечения. Имеющийся опыт инженеров-процессионщиков, разумеется, позволяет сделать выбор конкретной эффективной машины. За рубежом инжиниринговые фирмы (в данном контексте процессные или аппаратурные компании) имеют особую профильную специализацию по тем или иным процессам и конкретным типам аппаратов. Их многолетний опыт помогает эффективно решать поставленные задачи и разрабатывать новые технологические решения для конкретных условий производств заказчиков. Аналогичный опыт был принят и в отечественной практике путем создания отраслевых институтов, специализирующихся на конкретном оборудовании и процессах. В настоя-

щее время, увы, их уже практически не существует: научные школы системы РАН, МИХМ, НИИХиммаш рухнули, превратились в банальные общеинжиниринговые компании, потеряли узкопрофильную специализацию. Ряд вузов страны, имея в своем штате выпускников первичных профильных инженерных и научных школ пытается сохранить и воспроизводить имеющийся у них запас знаний и компетенций, однако последние все больше носят разрозненный и эклектичный характер. Только некоторые вузы, как, например Санкт-Петербургский Технологический Институт, имеют сильные школы по комплексному или узкоспециализированному процессному инжинирингу, остальные способны только поддерживать минимальный запас информации по ряду дисциплин: термодинамике, механике неоднородных сред, процессам и аппаратам, расчетам и конструированию.

В завершение хотелось бы остановиться на средстве отрасли ингредиентов и пищевых добавок и фармацевтической промышленности. Неадекватность отечественной производственной и технологической практики мировому опыту затянула на долгие годы переход фарминдустрии к требованиям стандарта GMP, а попытка его упрощения и интерпретации при переводе в рамках системы ОСТ и ГОСТ – вообще исказили его суть. Причина кроется в изначально неверных подходах к организации производства, аппаратурного оформления процессов и оснащения предприятий. Хотелось бы в отрасли ингредиентов избежать тех же ошибок. Вот почему важно учитывать и перенимать мировой опыт как в области инженерного обеспечения технологических процессов, так и организации производств и отраслевой стандартизации. Неверно организованное производство трудно перевести на правильный путь развития. Так и в области ингредиентов необходим эволюционно-организационный подход к развитию и внедрению международных стандартов обеспечения качества и безопасности продукции. Целесообразным представляется не менее чем пятилетний путь от над-

лежащей (правильной) технологической практики к учету и внедрению требований GMP в вопросах аппаратурного оформления технологических процессов и организации производства – к последующему внедрению системы менеджмента качества по программе ISO 9001, и только следующим этапом – должен стать переход к системе НАССР. Предписанный почти 2-х летний переход в виде скачка в «светлые» дали, скорее всего не удастся, это будет очередная профанация и формальное внедрение системы. Отрасли ингредиентов, да и всей пищевой промышленности РФ, нужен мораторий на сверхрегулирование и благоприятный экономический климат для дальнейшего развития, что особенно важно в плане подготовки к вхождению в ВТО.

Вопросы грамотной организации производства, разработки продукции, исследовательской деятельности и лабораторной практики в высшей степени актуальны для развивающегося бизнеса ингредиентов. Тенденции развития производств демонстрируют постоянное повышение уровня сложности технологических процессов, в которых все большее применение находят многофазные гетерогенные системы. При рассмотрении основ инженерного обеспечения технологических процессов большое внимание следует уделить природе веществ – их конкретным физико-химическим свойствам, конструктивному оформлению и качеству изготовления оборудования, комплексной организации производства. В основе развития отрасли ингредиентов и добавок (ее производственного кластера) – лежат именно разработки стратегий развития отдельных компаний и их перехода к новым принципам менеджмента и управления качеством, а также надлежащее (грамотное) инженерное обеспечение производственной деятельности. Уже давно сложились предпосылки для пересмотра методологических подходов, сущностная и технологическая отсталость сдерживает развитие пищевых отраслей. Административные барьеры и некомпетентность могут свести на нет всю работу бизнеса, ведущих предприятий и специалистов.