

УДК 621.926

Л. А. Сиваченко, Т. Л. Сиваченко

УПРАВЛЯЕМЫЕ ВИБРАЦИОННЫЕ МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВА СОЗДАНИЯ НОВОЙ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ – ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

UDC 621.926

L. A. Sivachenko, T. L. Sivachenko

CONTROLLED VIBRATORY MACHINES AND TECHNOLOGIES AS THE BASIS FOR CREATING A NEW INDUSTRY – PROCESSING MACHINE-BUILDING

Аннотация

Изложены основные задачи инновационного развития в области комплексной переработки сырья и материалов и обоснованы механизмы выявления его потенциала. Представлена энерготехнологическая концепция национальной безопасности и описаны основы создания управляемых вибрационных машин и технологий с практическими примерами некоторых из них. Обоснована необходимость в новой отрасли отечественной промышленности – технологическом машиностроении – и предложены организационно-структурные мероприятия по её формированию.

Ключевые слова:

вибрационные машины, управляемые технологии, технологическое машиностроение, измельчение, энергосбережение, модернизация промышленности, технологический уклад, инновационное развитие, энергетический поток, комплексы машин, мировая экономика.

Abstract

The paper gives the basic tasks of innovative development in the field of complex processing of raw materials and substantiates the mechanisms identifying its potential. For that, the energotechnological concept of national security is presented and the basics of creating controlled vibratory machines and technologies are described with practical examples of some of them. The necessity of a new domestic industry, namely processing machine-building, is substantiated and organizational and structural activities for its formation are proposed.

Key words:

vibratory machines, controlled technologies, processing machine-building, grinding, energy saving, modernization of industry, technological structure, innovative development, flow of energy, complexes of machines, world economy.

Постановка задачи

Технологические машины предназначены для изменения объектов путём преобразования материалов. В свою очередь, эти машины осуществляют некий процесс, итоговой целью которого является придание материальным объектам таких качеств и характеристик, которые интересуют человека. Сегодня это самые затратные статьи общественного производства, их доля только в энергетическом балансе стран составля-

ет 50...55 % всей вырабатываемой электроэнергии и 35...38 % всех остальных видов энергоресурсов [1].

Проблемы технологического развития при этом обусловлены дефицитом энергии, выработкой и обеднением многих природных ресурсов, экологической неустойчивостью, нехваткой производственных и интеллектуальных возможностей и рядом других негативных факторов. К их числу в первую очередь следует отнести тот неоспоримый факт,

что основные идеи, заложенные в технологии переработки сырья и материалов, разработаны ещё в XIX – начале XX вв. [1, 2].

Фатальный характер сложившейся ситуации заключается в том, что разработанные в то время машины и агрегаты и сегодня являются не только самыми крупными из всех созданных людьми, но и самыми несовершенными, т. к. принцип их действия соответствует знаниям того времени. Описываемая авторами область деятельности и на сегодняшний день не стала развиваться в направлении высоких технологий и здравого смысла, т. к. занявшим производственную нишу фирмам-производителям невыгодно изменять номенклатуру продукции и создавать принципиально новые объекты техники, иначе они теряют своё место на рынке и несут убытки.

Следует также отметить, что современное производство требует создания не отдельных машин и агрегатов, а высокоэффективных комплексов, каждое из звеньев которых выполняет определённые функции с максимальной эффективностью. Парадокс при этом состоит в необходимости огромных инвестиций на проведение исследований и разработок, которые зачастую разбиваются о стены чиновничьего невежества и профессиональной безграмотности ряда специалистов. Характерный этому пример – провал цементной промышленности Беларуси, когда в угоду китайским кредиторам построены три новых завода, а два старых закрыты. Новые работают хуже старых, а виновных не найти.

Для обоснования приведём графическую модель смены технологических укладов для различных отраслей народного хозяйства (рис. 1).

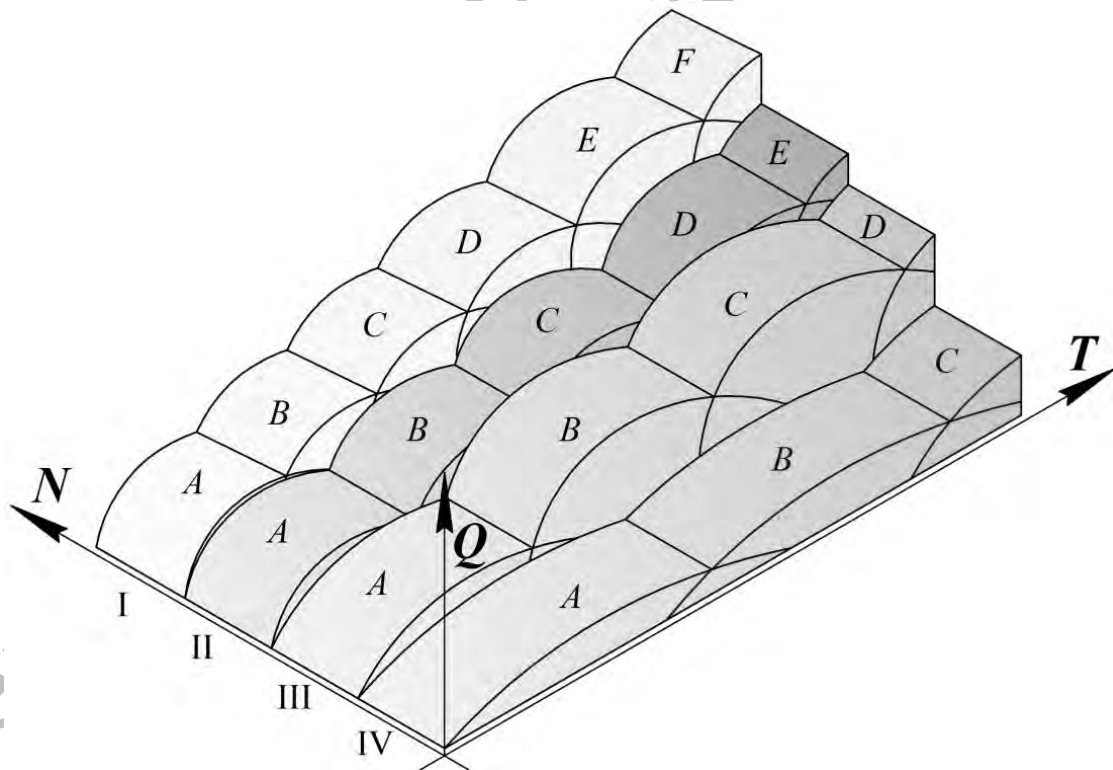


Рис. 1. Графическая модель смены технологических укладов для различных отраслей народного хозяйства

Условно разделим их на четыре группы и будем характеризовать по уровню эффективности Q . К первой группе следует отнести самые передовые отрасли, имеющие тенденции перехода на 6 технологический уклад, ко второй – достаточно продвинутые отрасли, находящиеся на 5 укладе, к третьей – недостаточно развитые, отличающиеся низкой эффективностью и требующие срочных инноваций. Особо следует выделить четвертую группу производств – это так называемые предприятия сырьевой направленности и первых стадий переработки. Используемые здесь принципы функционирования не только архаичны, но и крайне неэффективны, что не позволяет их оценку поднять выше третьего технологического уклада.

Экономика России включает в себя весь спектр технологических укладов, причём к первой группе отраслей следует отнести космическую, атомную и военную. В экономике Беларуси отрасли высшего уклада отсутствуют. Это положение необходимо учитывать в долгосрочных планах развития. Если при этом на графическую модель наложить совокупные издержки, необходимые для функционирования соответствующих отраслей, то они будут зеркально противоположны их уровню развития. Иными словами, четвёртая группа отраслей или производств является самой затратной (см. рис. 1).

Прежде всего следует отметить, что соответствующее 4-й группе отраслей состояние характерно для всей мировой экономики. Поясним это на примере. Если при помоле материалов на процесс расходуется до 10 % всей производимой электроэнергии при КПД мельниц около 1 % [3], а наука реально оценивает потенциал энергоэффективности минимум в 1 порядок, то необходимость технологической революции здесь более чем очевидна.

Таким образом, технологическая сфера производства, связанная с перера-

боткой сырья и материалов, относится к самой отсталой и затратной из всех, используемых в промышленности. Ситуация в целом аналогична для всех стран, даже самых развитых, что дает основания предсказывать неизбежный прорыв в этой области и предоставляет Беларуси шанс войти в число стран-лидеров мирового развития. Практические действия в этом направлении необходимо начинать уже сегодня.

Обоснование механизмов выявления потенциала технологического развития

В качестве исходных условий при решении поставленных задач будем считать поиск и оценку источников технологического потенциала в добывающих и перерабатывающих отраслях народного хозяйства. Речь идет о переработке и преобразовании различных материалов для получения новой продукции. Это необходимо делать именно по той причине, что это основной и наиболее определяющий этап энергоэффективности, т. к. именно здесь совершается наибольшая работа и производится целевой продукт.

Идеологической базой в основе подходов авторов является энерготехнологическая концепция национальной безопасности (ЭТК). Суть ЭТК заключается в межотраслевом анализе технологических стадий производства, выборе наиболее значимых из них по уровню энергозатратности и оценке по критерию потенциала практической реализации с возможностью оптимального решения. Принципиальной позицией ЭТК как методологической основы является тот факт, что Беларусь из «догоняющих» стран должна перейти в разряд государств со смешанным типом технологического развития, когда в структуре промышленности, например, будут присутствовать сегменты собственных технологий мирового уровня, как это имеет место в Финляндии, Чехии или Израиле, при заимствовании остальной

их части [4]. Для России этот формат должен быть значительно шире и охватывать целые отрасли.

Под понятием собственно «энерготехнологическая концепция» следует понимать системный анализ, организацию, создание, функционирование и совершенствование методов, средств и систем создания новых материалов, технологий, оборудования, производственных комплексов и продукции жизнедеятельности на условиях минимального энерго- и ресурсопотребления, высокой конкурентоспособности и экологичности.

Основная задача концепции – предложить новые механизмы модернизации отечественной экономики [5].

Сформулируем структуру энерготехнологической концепции. По сути, это усовершенствованная методология, которая хорошо известна специалистам. Принципиально новым здесь является вскрытие таких резервов производства, которые ранее в научных и плановых кругах не рассматривались, а также их межотраслевой анализ и учёт. Обобщённая структура ЭТК приведена на рис. 2.

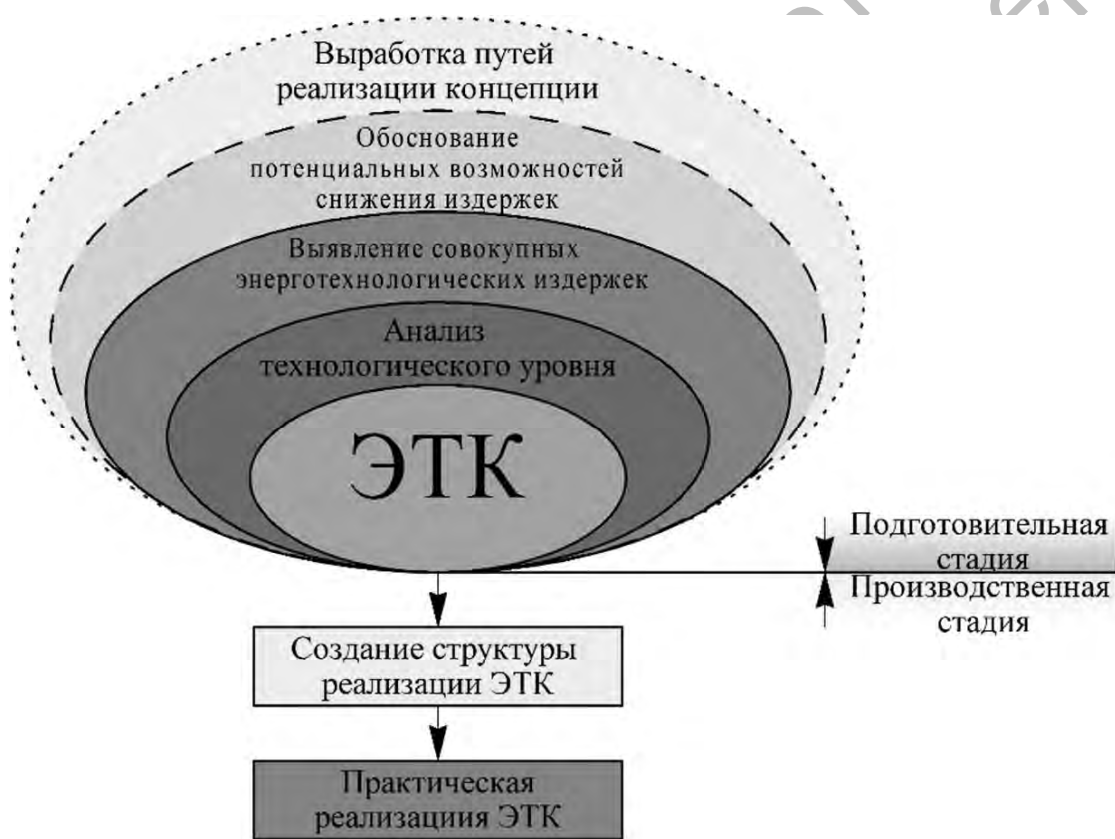


Рис. 2. Структура энерготехнологической концепции национальной безопасности

Современную экономику можно образно определить тем, что производится, как производится и как реализуется основная часть валового продукта. До сих пор перерабатываются огромные объемы материала с очень низкой эффективностью ее преобразования в конечный продукт, а на соответствующие

им технологические пределы расходуется огромное количество энергии, материальных ресурсов и человеческого труда. Именно по этим причинам продукция нашей страны недостаточно конкурентна на мировом рынке.

Характер обработки материалов определяет технологию проведения

процессов и конструктивное исполнение оборудования. В итоге имеем сложнейшие системы, целостное описание которых аналитическими подходами сегодня невозможно. Работу крупных машин трудно моделировать, а тем более проводить апробацию новых технических решений. Рынок технологического оборудования захвачен очень крупными компаниями, их продукция во многих случаях – целые заводы, к примеру, цементные. На такой рынок можно войти только путём существенных нововведений и концентрации всех ресурсов.

Хорошо известно, что очень многие технологии, процессы и оборудование, основанные на единых принципах функционирования, широко используются в различных отраслях промышленности для переработки многих видов материалов и решения специфических технологических задач. Широкой совместимостью характеризуются такие процессы, как измельчение, сушка, обжиг, гранулирование, классификация, прессование и ряд других, а также их соответствующая совокупность. Этот список можно дополнить многими десятками других процессов [6, 7]. Отсюда вывод – необходима широкая межотраслевая научная кооперация и междомственный подход к решению этих проблем.

В своих оценках технологического потенциала будем руководствоваться только частью производственных стадий или переделов, к их числу относятся первичная переработка сырья, дезинтеграторные технологии, тепловые переделы, технологическое ресурсосбережение, рудоподготовка, переработка отходов, технологический электропривод и технологическое энергосбережение [8].

Научной основой выдвигаемых авторами положений являются достижения таких фундаментальных дисциплин, как современное материаловедение, вибрационная механика, термоди-

намика, механика сплошной среды, комплексное моделирование, тепло- и массообмен и ряд других для создания принципиально новых технологических машин и оборудования, обеспечивающих переход к широкому внедрению управляемых технологий, способных кардинально улучшить работу большинства промышленных предприятий и обеспечить выход отечественной промышленности на новый технологический уровень.

Основы создания управляемых вибрационных машин и технологий

Внешнее воздействие на обрабатываемый материал приводит к изменению свойств этого материала в динамике. Для этих целей широко используются силовые поля: механические, тепловые, электрические, магнитные, электромагнитные, радиационные, вещественные и комбинированные [6]. Основанные на них технологические процессы можно разделить на следующие базовые группы: механические, гидромеханические, тепловые и массообменные, химические. Научные интересы, затрагивая три первые из этих групп, основаны на использовании адаптивных методов воздействия на обрабатываемые материалы. Это, в частности, оборудование с кинематически деформируемыми элементами или с дополнительными степенями свободы движения рабочих органов, собственно вибрационные установки или технологии, основанные на вибрационных принципах, машины ударного действия, комбинированные агрегаты для механотермической обработки материалов, некоторые новые технологические эффекты и ряд других.

При проведении любой технологической операции требуется эффективно использовать необходимую для этих целей энергию. Энерготехнологический алгоритм действий включает в себя получение, передачу, преобразование, использование и утилизацию энер-

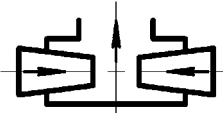
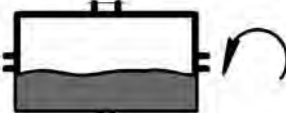
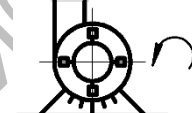

гии. За каждой из этих стадий стоит соответствующий дорогостоящий агрегат, неизбежны дополнительные потери и эксплуатационные издержки.

Уникальность собственно вибрационных машин и технологии заключается в их способности периодически накапливать энергию и затем в кратковременный период времени вводить её в обрабатываемую среду. Это коренным образом влияет на характер происходящих в ней изменений и является важнейшим условием создания управляемых технологий, например, при произ-

водстве бетона. Вопросы технологической вибротехники достаточно предметно освещены в [9–12].

Заслуживает внимания структурный анализ измельчительных агрегатов в части трансформаций и ввода энергии в обрабатываемую среду. На нескольких примерах (табл. 1) покажем механизмы управления энергетическими потоками для различных измельчительных машин. В некотором приближении здесь уместно традиционное определение КПД, как к примеру, КПД привода.

Табл. 1. Примеры структурного анализа технологических аппаратов

Структура аппаратов			
Струйная мельница	Шаровая мельница	Молотковая мельница	Виброударные мельницы
			
Силовая установка ↓ Привод ↓ Преобразователь энергии ↓ Рабочий процесс ↓ Модуль восстановления	Силовая установка ↓ Привод ↓ Технологический модуль ↓ Рабочий орган	Силовая установка ↓ Привод ↓ Рабочий орган	Силовая установка ↓ Рабочие органы

Изложенная в табл. 1 информация пояснений не требует и наглядно отражает звенья трансформационной системы с происходящими в них потерями энергии. Одним из путей повышения эффективности привода помольных агрегатов может служить виброинерционный механизм передачи движения рабочим органом. Он сочетают в себе различные функции (виброактивность, управляемость передачи силового импульса, максимум количества воздействий и минимум перемещений, возможность приближения рабочего процесса к методу измельчения единичного зерна и др.). Из новых аппаратов данно-

го направления можно выделить ресурсно-стержневые и штифтовые мельницы, конструкции которых приведены в [6, 13].

Основная проблема совершенствования дезинтеграторных технологий заключается в несовершенстве единичных актов разрушения, приводящих к огромным потерям на трение. Наиболее эффективным решением этой проблемы является создание агрегатов, осуществляющих воздействие на материал по методу индивидуального зерна. Именно на этом подходе основана конструкция стержневых виброударных мельниц.

В качестве варианта кардинального повышения эффективности струйной мельницы, которая, согласно табл. 1, имеет максимум трансформаций энер-

гии, можно привести ветроагрегат для струйного измельчения (рис. 3). В нём энергия ветра заменяет несколько стадий её преобразования [14].

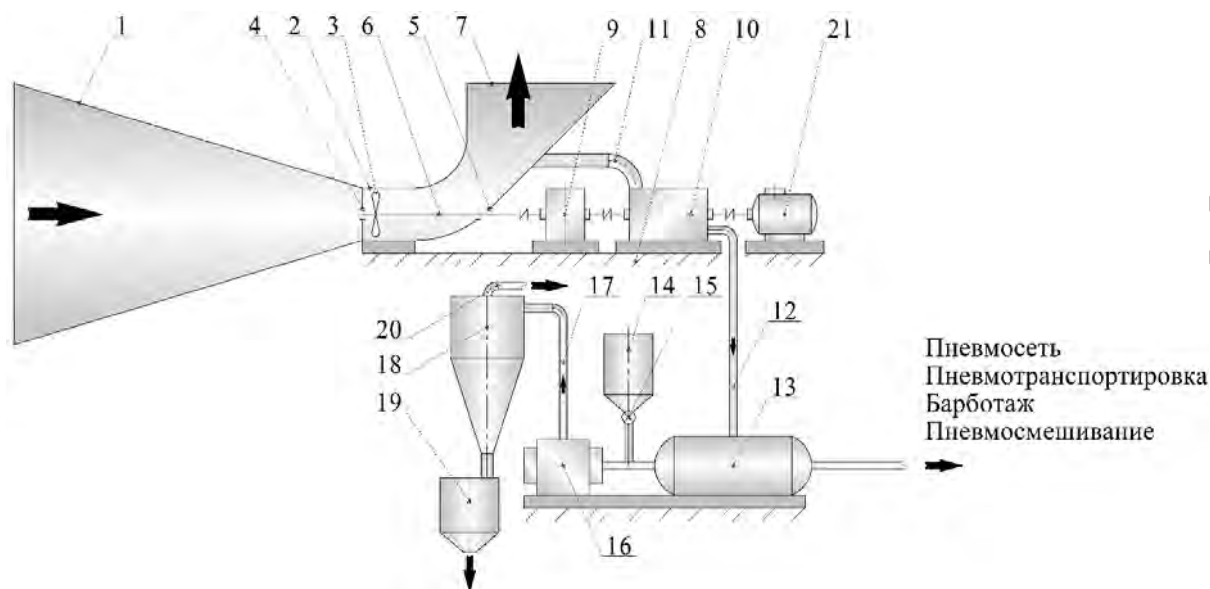


Рис. 3. Ветроагрегат для струйного измельчения

Ветроагрегат для струйного измельчения содержит конфузор 1 для концентрации воздушного потока, в горловине которого в цилиндрическом корпусе 2 установлено турбинное колесо 3. Ротор 6 турбинного колеса закреплён на опорах 4 и 5, а для выпуска отработанного воздуха предусмотрен патрубок 7. Вся ветроэнергетическая часть смонтирована на несущей конструкции 8, на которой установлены мультипликатор 9 и компрессор 10, кинематически соединённые с ротором 6 турбинного колеса 3. Забор воздуха в компрессор 10 и его подача под давлением в систему измельчения осуществляются соответственно через патрубок 11, соединённый с патрубком 7 для выпуска отработанного после турбинного колеса 3, и через напорный трубопровод 12.

Технологическая цепь струйного измельчителя включает в себя ресивер 13, бункер 14 с исходным материалом, подлежащим измельчению, питатель 15, струйную мельницу 16, отводящий тру-

бопровод 17, осадительную камеру 18 и выходную трубу 20 для удаления отработанного газового агента.

Включение в состав ветроагрегата обратимой электрической машины 21 выводит её на новый функциональный уровень, т. к. система может работать в режиме прямого использования энергии, её накопления или отдачи уже накопленной на другие технологические цели.

К тепловым процессам, заслуживающим особого внимания и осуществляемым при проведении технологических переделов, относятся сушка, обжиг, нагрев материала, автоклавная обработка, пропаривание, плавление и ряд других. Это наиболее энергоёмкие процессы во всей технологической структуре промышленности. Потенциал энергосбережения в них огромен, но его реализация требует серьезного анализа, значительных капитальных затрат и сопряжена с организационными трудностями.

В таком случае вибрационная техника может сыграть особую роль. Принципиально новой предполагается конструкция агрегата для обжига и сушки, и при соответствующих доработках она может заменить вращающиеся печи и сушилки различных конструкций. Схема такого агрегата изображена на рис. 4. Установка состоит из вертикально установленной на пружинных элементах рабочей камеры, выпол-

ненной в виде винтовой спирали прямоугольного сечения с патрубками для подачи сырьевого материала, отбора обожженного или высушенного продукта, подачи теплового газового агента и отвода отработанных газов. Для привода используется вибрационный механизм, установленный на верхней части рабочей камеры. Работа агрегата организована по противоточной схеме и легко управляется.

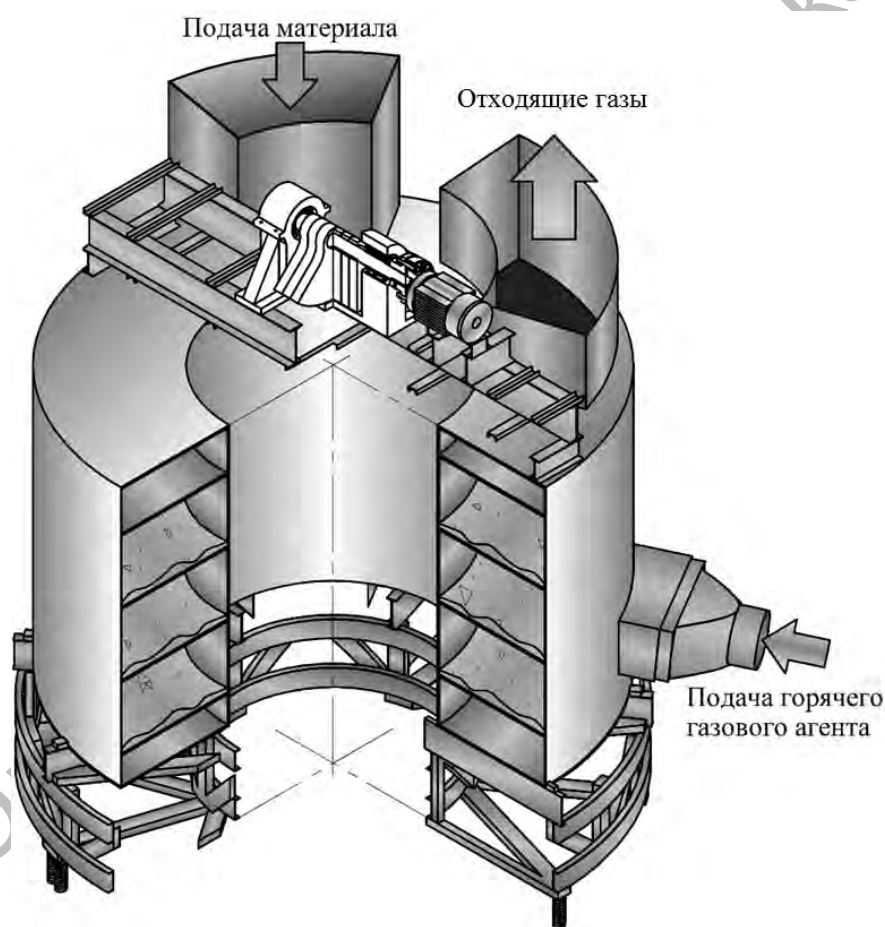


Рис. 4. Схема спирального агрегата для обжига и сушки

Предложенная конструкция требует очень серьезных работ по её реализации: выбору принципиально новых теплоизоляционных и конструкционных материалов, созданию приводного механизма для придания колебаний большим массам, обеспечению доступа для обслуживания рабочих зон и т. д. И это,

тем не менее, побуждает ставить задачу создания такого или близкого по цели агрегата, который будет востребован на мировом рынке.

Вибрационные колебания и ударные волны вызывают в обрабатываемой среде значительные изменения, которые характеризуются рядом технологиче-

ских эффектов. К ним можно отнести и исследуемые авторами эффект адсорбционного повышения прочности, эффект ударного выбивания влаги из капиллярно-пористых тел и ее сдува воздушным потоком и эффект пенной сушки [15]. Так, по первому из них при добавлении в бетонные смеси 0,2...0,3 % к массе цемента твердого природного адсорбента и последующего виброуплотнения прочность образцов может повышаться в 1,2...1,5 раза. Подобные технологии, а их немало наработано специалистами различных отраслей, требуется как можно оперативнее внедрять в производство.

Подобный перечень разработок можно многократно продолжать. Важно понимать, что арсенал отечественной науки охватывает почти весь спектр современных технологий. Например, вибрационные принципы используются в процессах измельчения, смешивания, уплотнения, гранулирования, упрочне-

ния, горения, сварки, плавления, обогащения, штамповки, обработки металлов резанием, нанесения покрытий и т. д. Это в итоге приводит только к одному выводу – вибрационные машины и технологии являются по настоящему общетехническим инструментом и могут служить реальной основой для повышения эффективности работы базовых отраслей народного хозяйства.

Концепция формирования отрасли технологического машиностроения

Обоснованием необходимости ускоренного становления технологического машиностроения можно считать прогноз глобального мирового развития многих авторов, например, Ф. А. Шамрая [16]. Графическая интерпретация приводимой им модели иллюстрируется на рис. 5, где изображена схема цикличности экономики.

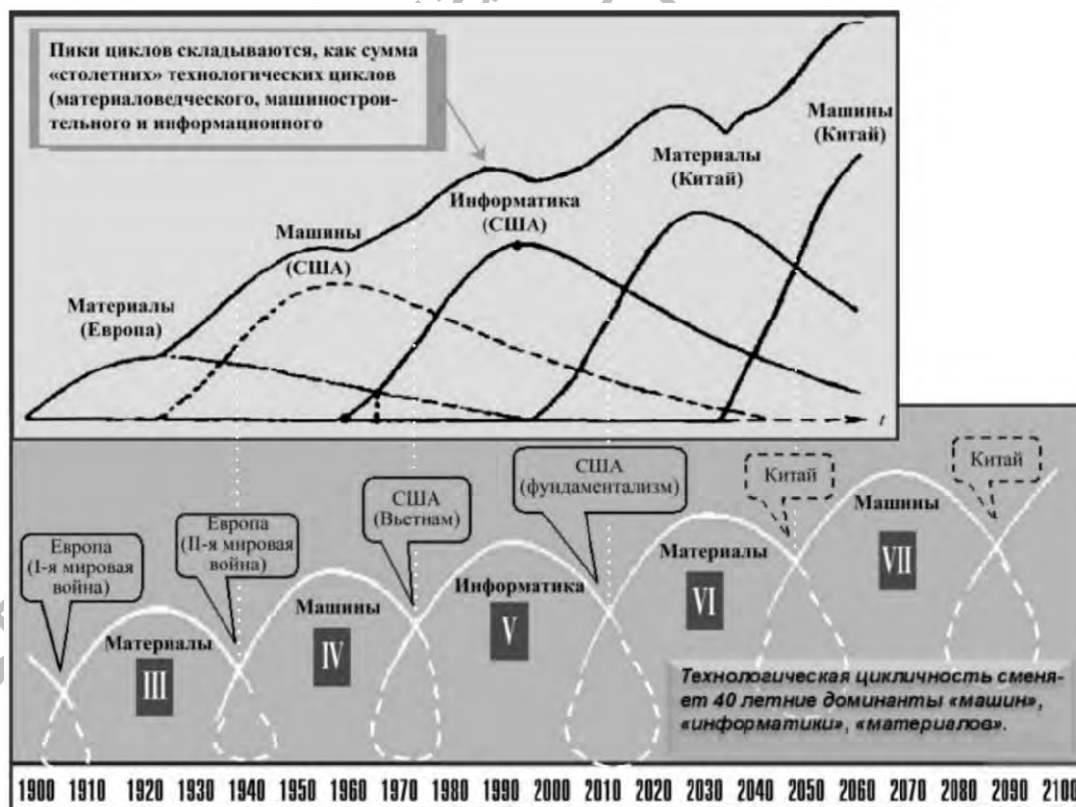


Рис. 5. Циклограммы технологического развития мировой экономики [16]

Неоспоримым выводом из представленных циклограмм как 40-летних, так и 100-летних технологических циклов является то, что в 2010...2050 гг. в экономике будут доминировать материалы, в 2040...2100 гг. – машины, а неоспоримым лидером будет Китай.

Складывающаяся тенденция свидетельствует о том, что технологическое машиностроение, в том числе как основа создания «умных» машин и комплексов, является важнейшим трендом развития мировой экономики на ближайшие десятилетия. На этом основании следует дать комплексную оценку потенциала модернизации технологической структуры, создать банк потенциально эффективных машин, технологий и комплексов, сформировать национальную стратегию инноваций и разработать план её реализации, а самое главное – без промедления приступить к практическим действиям.

В статье авторы ставят своей целью выделить особую роль вибрационных принципов в оборудовании и управляемых технологиях как одну из фундаментальных основ инновационного развития базовых отраслей промышленности. Прорыв в этой области связан с формированием новой отрасли – технологического машиностроения.

Выполненный межотраслевой анализ [8] работы технологических комплексов показывает, что неучтённый и реально осуществимый потенциал энергосбережения здесь составляет не менее 15...20 % всей электроэнергии и 5...8 % других видов энергоресурсов. Совокупная примерная оценка доли технологического машиностроения в ВВП с учётом внутреннего рынка, экспорта и резервов энерго- и ресурсосбережения, а также рационального природопользования имеет тенденции к росту до 15...20%.

В идеале требуется сформировать новое мышление в сфере инновационной модернизации промышленности.

В данном случае видятся два основных сценария развития. Первый – традиционный, основанный на принципах элементарной модернизации, он широко распространён и особого эффекта не даёт, второй – интенсивный, с директивным решением проблем и созданием принципиально новых объектов техники.

Отдельно следует остановиться на рынке продукции проектирования технологических комплексов и заводов. Это ниша чисто интеллектуального продукта подобна разработке программ для ЭВМ, систем проектирования и АСУ; она начинает формироваться только сейчас и обещает большие экономические и социальные выгоды его создателям. При этом результирующее правило конкурентной борьбы в инновационной сфере – преимущество наступающих.

Создание отрасли технологического машиностроения позволит оперативно решать задачи опережающего развития, устранять экологические угрозы, формировать новые прогрессивные производственные кластеры, но самое главное – обеспечить высокий жизненный уровень населения.

Заключение

Реальные возможности для инновационной модернизации России и Беларуси предоставляет история, и они есть у наших государств. Настало время это делать в промышленных масштабах и переходить от сырьевой экономики к высокоинтеллектуальной, обеспечивающей выход на передовые позиции в мире. Технологический прорыв в настоящее время возможен только благодаря выбору нужного направления развития и сосредоточения на нем необходимых ресурсов. По глубокому убеждению авторов, прежде всего вибрационные машины и технологии являются той исходной основой, которая позволит в кратчайшие сроки создавать новые вы-

сокоэффективные виды оборудования.

Главным резервом снижения издержек общественного производства является совершенствование технологий комплексной переработки сырья и материалов и получение продуктов, необходимых для удовлетворения потребностей человека. Это наиболее крупные и затратные предприятия из всех существующих. Реализация этого потенциала без перевода таких производств на новый уровень развития невозможен, а прорыв связан с формированием новой отрасли – технологического машино-

строения. Глобальный прогноз мировой экономики делает такой путь развития неизбежным. Национальный интерес Беларуси во многом может быть основан на этом прогнозе.

Представленная информация является частным случаем в рассмотрении фундаментальной проблемы и не претендует на полноту освещения. Необходима большая работа, большие проекты и инвестиции для реализации поставленных задач по формированию отрасли технологического машиностроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сиваченко, Л. А.** Современное технологическое машиностроение: основные положения / Л. А. Сиваченко // Инженер-механик. – 2010. – № 4. – С. 10–20.
2. **Сиваченко, Л. А.** Современное технологическое машиностроение: резервы развития / Л. А. Сиваченко // Инженер-механик. – 2011. – № 1. – С. 11–21.
3. **Ревнивцев, В. И.** Селективное разрушение минералов / В. И. Ревнивцев [и др.]. – М. : Недра, 1988. – 286 с.
4. **Сиваченко, Л. А.** Технологическое машиностроение – стратегический резерв развития промышленности Беларуси / Л. А. Сиваченко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 3. – С. 126–130.
5. **Сиваченко, Л. А.** Энерготехнологическая концепция национальной безопасности / Л. А. Сиваченко, Б. А. Унаспеков // Энергоэффективность. – 2013. – № 5. – С. 28–31.
6. **Сиваченко, Л. А.** Технологические аппараты адаптивного действия / Л. А. Сиваченко. – Минск : БГУ. 2008. – 375 с.
7. **Сиваченко, Л. А.** Основные положения совершенствования дезинтеграторных технологий / Л. А. Сиваченко // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 95–106.
8. Технологические пределы с максимальным потенциалом энергосбережения / Л. А. Сиваченко, У. К. Кусебаев, И. А. Реутский, А. М. Ровский // Энергоэффективность. – 2015. – № 10. – С. 24–30.
9. **Сиваченко, Л. А.** Технологическая вибротехника – основа технического перевооружения базовых отраслей промышленности / Л. А. Сиваченко, С. Ф. Яцун, В. С. Севостьянов // Управляемые вибрационные технологии и машины : сб. науч. ст. – Курск, 2010. – Т. 1. – С. 34–39.
10. **Сиваченко, Л. А.** Практическая реализация технологической вибротехники / Л. А. Сиваченко // Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины. : сб. науч. ст. – Курск, 2014. – Т. 1. – С. 100–113.
11. **Сиваченко, Л. А.** Вибрационные машины и технологии – основа создания отечественного технологического машиностроения / Л. А. Сиваченко // Управляемые вибрационные технологии и машины : сб. науч. ст. – Курск, 2012. – Т. 1. – С. 30–39.
12. Энерготехнологические проблемы дезинтеграторных технологий в промышленности строительных материалов и пути их решения / Л. А. Сиваченко, Т. Л. Сиваченко, Н. В. Курочкин, Ю. К. Добровольский // Энергоэффективность. – 2014. – № 12. – С. 22–25.
13. **Сиваченко, Л. А.** Технологические резервы национальной экономики / Л. А. Сиваченко, С. Ж. Багитова, Ш. Г. Джумадилова // Инженерное образование и наука в XXI веке. Проблемы и перспективы : тр. Междунар. форума. – Алматы, 2014. – Т. 2. – С. 597–604.
14. **Сиваченко, Л. А.** Использование энергии ветра в технологиях производства строительных материалов / Л. А. Сиваченко, Ю. К. Добровольский // Энергоэффективность. – 2014. – № 8. – С. 29–31.
15. **Севостьянов, В. С.** Основные положения физико-химической механики в совершенствовании технологических процессов / В. С. Севостьянов, Л. А. Сиваченко, Т. Н. Ильина // Экология и рациональное природопользование как фактор устойчивого развития : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 2014. – С. 263–270.

16. **Шамрай, Ф. А.** Модернизация в России / Ф. А. Шамрай // Строительные и дорожные машины. – 2012. – № 2. – С. 2–7.
17. Технологические аппараты адаптивного действия / Л. А. Сиваченко [и др.]. – Минск : БГУ, 2008. – 375 с.

Статья сдана в редакцию 24 мая 2016 года

Леонид Александрович Сиваченко, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. E-mail: 228011@mail.ru.

Татьяна Леонидовна Сиваченко, соискатель, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. E-mail: tatsianamail.86@gmail.com.

Leonid Aleksandrovich Sivachenko, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. E-mail: 228011@mail.ru.

Tatiana Leonidovna Sivachenko, external PhD student, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. E-mail: tatsianamail.86@gmail.com.