

**Л.А. Сиваченко,**  
д. т. н., проф.  
Белорусско-Российский  
университет



**Т.Л. Сиваченко,**  
заместитель директора  
КБ «Промышленные  
технологии и комплексы»



# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ – ОСНОВА СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МАШИН И КОМПЛЕКСОВ

## Аннотация

На основе межотраслевого анализа и базовых положений энерготехнологической концепции национальной безопасности дана оценка современного уровня, потенциала и путей развития технологической структуры промышленного комплекса. Обоснована целесообразность формирования его новой отрасли — технологического машиностроения. Отмечена особая роль технологического машиностроения в вопросах энергосбережения и перевооружения базовых отраслей промышленности, реализуемая путем создания энергоэффективных технологий, машин и комплексов. Обосновано, что в ближайшие десятилетия технологическое машиностроение будет одним из главных направлений мирового экономического развития. Материалы статьи авторы просят считать своим предложением в формирующуюся государственную программу инновационного развития Беларуси.

## Abstract

On the basis of cross-sectoral analysis and the basic provisions of the energetic and technological concept of national security the current level, potential, and ways to develop the technological industrial complex structure are assessed. The expediency of the formation of its new branch — technological engineering is grounded. Its particular role in matters of energy conservation and re-basic industries playing through the creation of energy-efficient technologies, machines and systems is noted. The thesis that in the coming decades technological engineering will be one of the main areas of the world economic development is grounded. The authors are asked to consider the article as their proposal in the emerging state program of innovation development of Belarus.

## Исходные положения

Из всех компонентов, составляющих национальную безопасность страны, для Беларуси сегодня на первый план выходит технологический компонент. Остановимся на рассмотрении технологической составляющей как основы современной стратегии устойчивого развития. Под этим определением будем понимать системный анализ, организацию, функционирование и совершенствование методов, средств и систем создания новых материалов, технологий и продукции для обеспечения жизнедеятельности людей и государства в целом на условиях минимального энергопотребления, эффективности производства и экологической безопасности [1, 2].

Именно машиностроение определяет технологический уровень экономики в целом. Особую группу машин составляют рабочие или технологические машины, обеспечивающие переработку материалов с целью придания им нужных свойств или характеристик. Выпуск машин и оборудования для преобразования материалов в интересах человека производится различными отраслями, которые

можно объединить в единую отрасль – технологическое машиностроение [1–3].

Продукция этой отрасли машиностроения включает в себя технологические аппараты и оборудование для химической, горнорудной, пищевой, металлургической, энергетической отраслей промышленности, агрегаты для стройиндустрии и производства строительных материалов, сельского хозяйства, переработки отходов, порошковой металлургии, аппаратуру нанотехнологий подготовки топлива, бытовую технику, механизированный инструмент и т.д. [2].

## Оценка технологического уровня отечественного производства

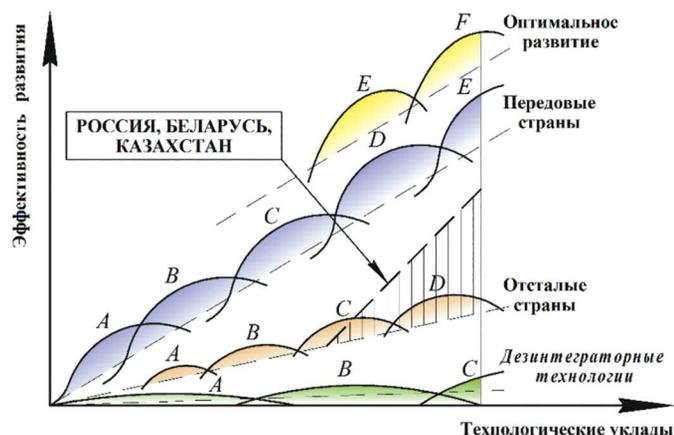
Уровень развития технологической структуры, называемой технологическим укладом и характеризующей периодической сменой различных способов производства, определяет наше место в мировом разделении труда [4]. Кинетику этого процесса хорошо иллюстрирует приведенная на рисунке 1 графическая модель смены технологических укладов (ТУ) [4, 5]. В идеале нам необходимо из разряда отсталых

стран (а это так, хоть и горестно признаваться) стремиться любой ценой прорваться в когорту развитых стран с высоким уровнем жизни. Достигнуть этого можно только на основе поиска резервов и концентрации всех сил. Это длительный и трудный путь инноваций и модернизации, требующий продуманной стратегии и ее неукоснительной реализации.

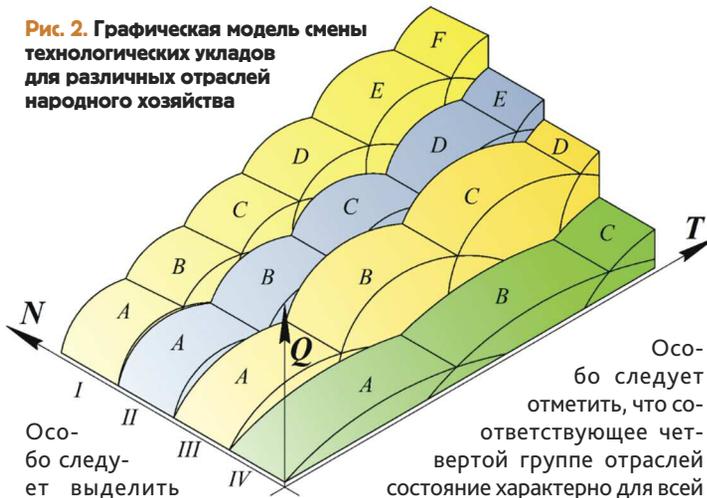
Приведенная графическая модель является достаточно условной и не раскрывает количественных показателей функционирования технологической сферы. Это можно сделать путем межотраслевого анализа.

Для обоснования своих позиций приведем графическую модель смены технологических укладов для различных отраслей народного хозяйства (см. рисунок 2). 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 шестой технологический уклад, ко второй – достаточно продвинутые отрасли, находящиеся на пятом укладе, к третьей – недостаточно развитые, отличающиеся низкой эффективностью и требующие срочных инноваций.

Рис. 1. Графическая модель смены технологических укладов

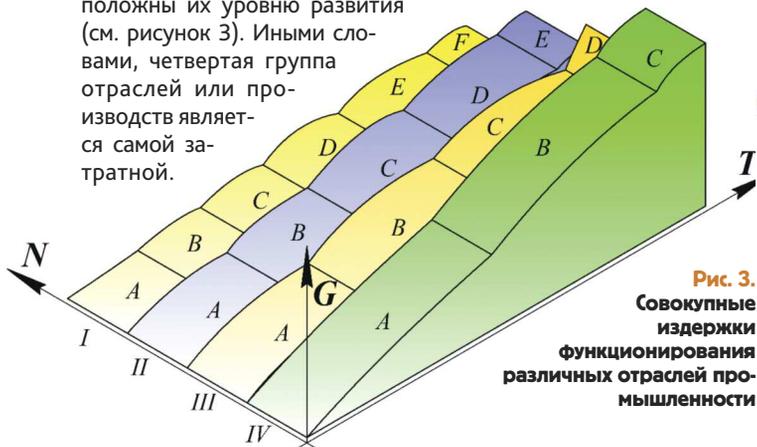


**Рис. 2.** Графическая модель смены технологических укладов для различных отраслей народного хозяйства



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 нам отнести их к технологическому укладу выше третьего.

Интересно, что экономика России включает в себя весь спектр технологических укладов, причем к первой группе отраслей следует отнести космическую, атомную и военную. В экономике Беларуси отрасли высшего уклада отсутствуют и есть только их отдельные проявления. Это положение необходимо учитывать в долгосрочных планах развития и стремиться любой ценой минимизировать свое отставание от передовых стран по всем направлениям. Если при этом на графическую модель наложить совокупные издержки  $G$ , необходимые для функционирования соответствующих отраслей, то они будут зеркально противоположны их уровню развития (см. рисунок 3). Иными словами, четвертая группа отраслей или производств является самой затратной.



**Рис. 3.** Совокупные издержки функционирования различных отраслей промышленности

**Обоснование механизмов повышения энергоэффективности технологического оборудования**

Для осуществления любых преобразований вещественной структуры, т.е. проведения технологических процессов, необходимо использовать энергию. Ее жизненный цикл включает в себя получение, преобразование, передачу, использование и утилизацию. От правильной реализации этой совокупности зависит итоговая эффективность всей энергетической и производственной структуры. Как частные примеры простого решения таких задач можно привести когенерацию, совмещение различных процессов в одном агрегате (измельчение–сушка–смешивание), применение выгорающих добавок, организацию процессов на основе отходящих газов и целый ряд других.

Однако важнейшим фактором энергоэффективности является потребление энергии непосредственно в рабочем процессе. Для огромного количества технологических процессов (разрушение горных массивов, копанье грунтов, измельчение, бурение, смешивание, уплотнение, сушка, обжиг, гранулирование, плавление, растворение, кристаллизация и т.д.) задача энергосбережения банально сводится к простой организации ввода и рационального распределения энергии в обрабатываемой среде. Здесь есть уникальный пример – шаровая мельница, изоб-

ретенная почти 150 лет назад и до сих пор имеющая широчайшее использование в технике [5, 6], хотя она пережила много поколений оборудования (см. рисунок 4).

Состояние, характерное для шаровой мельницы, явно коррелируется с технологическими укладами развития дезинтеграторных технологий, предшественных на рисунке 1. Столь низкий уровень энергоэффективности этого вида оборудования особенно хорошо прослеживается на фоне других машин и агрегатов. Так, если сравнить затраты электроэнергии всех машиностроительных заводов Магилевской области, где работают многие тысячи станков, с энергозатратами при выполнении процессов помола материалов, то станет очевидно: в последние докризисные годы они были равны между собой и составляли, по данным статистичности, примерно по 270–280 млн кВт·ч в год. Важно отметить, что около 70% процессов помола сосредоточено на предприятиях по производству цемента, извести и силикатных изделий, где задействовано 22 крупных помольных агрегата, в т.ч. 16 шаровых мельниц. Есть над чем поразмыслить с позиций стратегии энергосбережения!

Заслуживает внимания структурный анализ измельчительных агрегатов в части трансформаций и ввода энергии в обрабатываемую среду. На нескольких примерах (таблица 1) покажем механизмы управления энергетическими потоками для различных измельчительных машин. ▶

**Рис. 4.** Графическая модель смены поколений техники

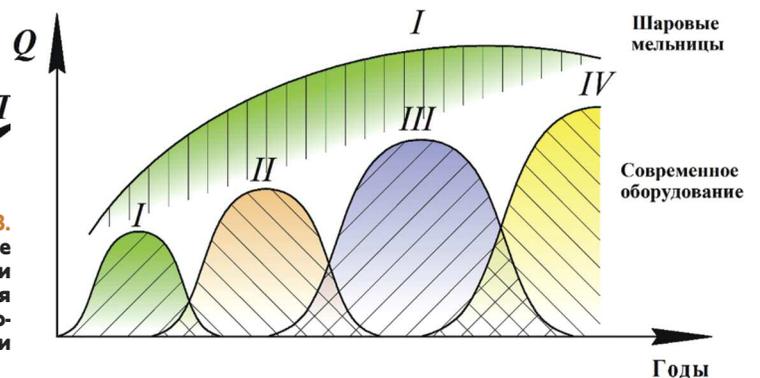
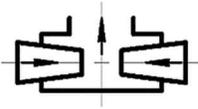
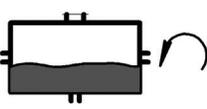
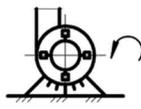


Таблица 1. Примеры структурного анализа технологических аппаратов

Структура аппаратов			
Струйная мельница	Шаровая мельница	Молотковая мельница	Вибродударные и стержневые 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 таблице 1 информация наглядно показывает 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 сочетает в себе различные функции (виброактивности, управляемость) передачи силового импульса, максимум количества воздействий и минимум перемещений, возможность приближения рабочего процесса к методу измельчения единичного зерна и др.). Из новых аппаратов данного направления можно выделить рессорно-стержневые и штифтовые мельницы, конструкции которых приведены в работах по теме [7–10].

Основная проблема совершенствования дезинтеграторных технологий заключается в несовершенстве единичных актов разрушения, приводящих к огромным энергопотерям 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 и вибродударных мельниц [7, 11, 12].

Основной проблемой низкой эффективности большинства технологических машин является неуправляемый характер ввода и распределения энергии в среде

обрабатываемого материала, который распределяется и движется в рабочих зонах самым худшим образом. Так, в шаровой мельнице подведенная энергия «размазывается» между мелющими телами в огромном объеме, полезную работу совершает только каждый тысячный удар мелющего тела (шара), остальные молотят сами себя. Отсюда КПД этих машин менее 1% [6] и высочайшая стоимость помола.

Не намного лучше ситуация и с энергоэффективностью других агрегатов, к числу которых можно отнести вращающиеся печи, дробилки, мельницы, сушилки различных конструкций, смесители, классификаторы, уплотнители, грануляторы, реакторы и ряд других. Известно немало направлений решения этих проблем, основанных, в частности, на достижениях прикладной физико-химической механики.

Одной из важнейших областей реализации направленного воздействия на обрабатываемые среды является технологическая вибротехника. Это научное направление основано на применении вибрационных и динамических воздействий на материал, который изменяет свои реологические и другие характеристики, и в его обработке появляются новые возможности для управляемого осуществления процесса [8, 9]. При этом материал принудительно «приспосабливается» к внешним

условиям, создаваемым рабочим оборудованием.

Другим примером, когда поведение рабочих органов зависит от свойств обрабатываемого материала, являются адаптивные подходы в их проектировании. В этом случае рабочее оборудование либо выполнено на основе кинематически деформируемых элементов (пружин, стержней, пластин), либо оно состоит из многосферных звеньев (бил, цепей, дисков, зубьев), изменяющих свое положение под влиянием внешних факторов [10–12].

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.

Данный перечень можно дополнить многими другими направлениями, основанными на достижениях аэро- и гидродинамики, управляемого высокотемпературного синтеза, высокоскоростного удара, различного рода аномальных эффектов, в

частности, адсорбционного понижения или повышения прочности и т.д. Это только лишнее раз подтверждает широту и масштабность механизмов интенсификации работы технологических машин.

### Энергоэффективность новых технологических машин

Обозначенная нами продукция новой отрасли – не что иное, как энергосберегающие орудия труда, относящиеся прежде всего к крупномасштабным производствам. Нами ранее было показано [13], что наиболее значимыми для экономики Беларуси являются следующие технологические переделы: первичная переработка сырья, дезинтеграторные технологии, тепловые процессы, технологическое ресурсосбережение, рудоподготовка, переработка отходов, нанотехнологии, технологический электропривод и технологическое энергосбережение.

Приведенный перечень технологических переделов и их предварительная оценка дают основания утверждать, что это огромный потенциал энергосбережения. Оценки перспектив его реализации показывают, что величина экономии электроэнергии может составить не менее 15–20% от ее производства и 5–8% расхода других видов энергоресурсов [13]. Ценность этих данных заключается прежде всего в том, что они ранее в таком представлении не рассматривались и в каких-либо программах энергосбережения не учитывались. Их методологической базой является энерготехнологическая концепция национальной безопасности [14].

Суть энерготехнологической концепции составляет системный межотраслевой анализ технологических машин и процессов с целью выявления реального потенциала повышения их энергоэффективности. Это предполагает разработку научно обоснованных подходов по созданию принципиально новых технологий и оборудования и является необходимым условием



Первичным условием на этом пути является создание проектной структуры, которая должна вместить в себя все функции сбора, переработки и управления информацией в части материаловедения, анализа технологий, проектных решений оборудования систем управления и т.д. По сути, это парк высоких технологий, изначально решающий задачи энергосбережения, выполнения широкого спектра проектных и научно-исследовательских работ, проведения технологических испытаний и на этой основе создающий принципиально новые материалы, технологии и оборудование.

Отдельно следует остановиться на рынке продукции проектирования технологических комплексов и заводов. Эта ниша интеллектуального развития, рассчитанная на продажу проектов и лицензий, авторского контроля и консультаций, подобно разработке программных продуктов для ЭВМ, систем проектирования в АСУ, сейчас только начинает по-настоящему формироваться и обещает большие экономические и социальные выгоды его участникам.

Экономика Беларуси остро нуждается в структурном реформировании ее базовых отраслей, в первую очередь машиностроения. Неустойчивость переходного периода, экономические, финансовые, кадровые и административные проблемы, отсутствие собственного опыта крупных технологических реформ тормозят глобальную перестройку промышленного комплекса. А задачи здесь стоят огромные и многоплановые. Во-первых, стране требуется индустриализация, без чего нам технически просто не выжить, во-вторых, нужны прорывные национальные масштабные направления (уверены, что технологическое машиностроение именно таковым и является), в-третьих, нельзя оставаться в стороне от формирования новых наукоемких отраслей шестого технологического уклада. И в любом из этих направлений главная цель – создание конкурентоспособной продукции с высокой прибавочной стоимостью.

Обобщая высказанные предложения и доводы, можно с уверенностью считать, что развитие отрасли технологического машиностроения в Беларуси имеет необходимую экономическую и технологическую основу. В новых энергоэффективных технологических машинах нуждаются все отрасли промышленности. Это позволит увеличивать экспорт продукции и создавать новые рабочие места, но главное – осуществлять комплексную перестройку экономики на основе пятого технологического уклада и активно интегрироваться в международное разделение труда на базе конкурентоспособных преимуществ в ряде новейших научно-технологических направлений.

**Технологическое машиностроение может и должно играть основополагающую роль в решении таких важнейших национальных задач, как энергосбережение.**

### Заключение

Главным резервом снижения издержек промышленного производства является совершенствование технологий комплексной переработки сырья и материалов и получение продуктов, необходимых для удовлетворения потребностей человека. Этим занимаются не только более крупные и энергоснабжаемые предприятия из всех существующих. Наука видит здесь огромный потенциал модернизации, который невозможен без их перевода на новый уровень технологического развития. Его реализация связана с формированием новой отрасли – технологического машиностроения.

Технологическое машиностроение может и должно играть основополагающую роль в решении таких важнейших национальных задач, как энергосбережение. Для его развития существуют эффективные механизмы организации работы

и создания новых технологических машин, определены приоритеты в выборе направлений их модернизации. Важны и уже существующие некоторые примеры практической реализации таких подходов.

Представленная информация является авторским взглядом на оценку фундаментальной проблемы инновационного развития и не претендует на полноту изложения. Необходимо серьезная работа, большие проекты и инвестиции для реализации поставленных задач по формированию отрасли технологического машиностроения. Глобальный прогноз мировой экономики делает такой путь развития неизбежным. В этом – наш национальный интерес и перспективы.

### Литература

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. Сиваченко Л.А. Пути развития современного технологического машиностроения / Л.А. Сиваченко. – Сб. докл. междунар. научн.-практ. конф. «Инновационные материалы и технологии». – Часть 2. – Белгород: БГТУ, 2011. – С. 111–118.
4. Слонимский А.А. Научный потенциал и проблемы трансформации технологической структуры Республики Беларусь / А.А. Слонимский // Изв. БИА. – 1996. – С. 30–38.
5. Сиваченко Л.А. Вибрационные машины и технологии – основа создания отечественного технологического машиностроения / Л.А. Сиваченко. – Сб. науч. ст. «Управляемые вибрационные технологии и машины». – Том 1. – Курск: ЮЗГУ, 2012. – С. 30–39.
6. Ревнивцев В.И. Селективные разрушение минералов / В.И. Ревнивцев [и др.] – М.: Недра, 1988. – 286 с.
7. Сиваченко Л.А. Энерготехнологические проблемы дезин-

теграторных 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.

8. Сиваченко Л.А. Основные положения совершенствования дезинтеграторных технологий / Л.А. Сиваченко – Вестник Бел.-Рос. ун-та. – 2011. – №4. – С. 95–106.

9. Сиваченко Л.А. Практическая реализация технологической вибротехники / Л.А. Сиваченко – Сб. науч. ст. «Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины». – Том 1. – Курск: ЮЗГУ, 2014. – С. 100–113.

10. Сиваченко Л.А. Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2008. – 375 с.

11. Сиваченко Л.А. Механоактиваторы адаптивного действия и их развитие / Л.А. Сиваченко, В.С. Севостьянов, Т.Л. Сиваченко, С.Ж. Багитова. – Сб. науч. ст. «Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины». – Том 1. – Курск: ЮЗГУ, 2016. – С. 48–57.

12. Севостьянов В.С. Технологические аппараты с иглофризерными рабочими органами для комплексной переработки композиционных материалов / В.С. Севостьянов, Т.Л. Сиваченко, С.А. Михайличенко – Научн.-теор. ж-л «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». – Белгород. – 2015. – №2. – С. 50–56.

13. Сиваченко Л.А. Технологические переделы с максимальным потенциалом энергосбережения / Л.А. Сиваченко, У.К. Кусебаев, И.А. Реутский, А.М. Ровский. – Энергоэффективность. – 2015. – №10. – С. 24–30.

14. Сиваченко Л.А. Энерготехнологическая концепция национальной безопасности / Л.А. Сиваченко, Б.А. Унаспеков. – Энергоэффективность. – 2013. – №5. – С. 28–31.

15. Шамрай Ф.А. Модернизация в России / Ф.А. Шамрай. – Строительные и дорожные машины. – 2012. – №2. – С. 2–7. ■

Статья поступила в редакцию 2.05.2016