



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала: <http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 698

## ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

**Пинкальский М.А.**

*ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОСБИОТЕХ)",  
Москва, Россия, (125080, город Москва, Волоколамское ш., д.11), e-mail: pinkalsky@mail.ru*

**XXI век подводит человечество к естественным пределам его возможностей. В то время как население Земли растет, доступность сырья, такого как нефть, природный газ, минеральные руды и вода, снижается не только для промышленно развитых обществ, но и для стран третьего мира и развивающихся стран. Ориентированное на потребление поведение в быстроразвивающихся странах, таких как Китай или Индия, подражая поведению в богатых странах, требует огромного увеличения валового национального продукта во всем мире. В то же время важно добиться значительного сокращения выбросов CO<sub>2</sub>, чтобы противостоять дальнейшему изменению климата.**

Ключевые слова: Зеленая энергия, эффективное производство, энергоэффективность, экономия энергии, энергоэффективное потребление.

## THE MAIN TRENDS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENCY IN PRODUCTION

**Pinkalsky M.A.**

*RUSSIAN BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY (ROSBIOTECH), Moscow, Russia, (125080,  
Moscow, Volokolamskoye shosse, 11), e-mail: pinkalsky@mail.ru*

**The XXI century brings humanity to the natural limit of its capabilities. While the world's population is growing, the availability of raw materials such as oil, natural gas, mineral ores and water is declining not only for industrialized societies, but also for third world and developing countries. Consumption-oriented behavior in rapidly developing countries such as China or India, mimicking behavior in rich countries, requires a huge increase in gross national product worldwide. At the same time, it is important to achieve significant reductions in CO<sub>2</sub> emissions in order to counter further climate change.**

Keywords: Green energy, efficient production, energy efficiency, energy saving, energy efficient consumption.

В последнее время глобальный спрос на сырье сильно вырос, и сырье становится все более дефицитным и дорогим в период с 2001 по 2008 год оно подорожало более чем на 70 %. Затраты на сырье как доля от общих производственных затрат, составляющая от 30 до 80 %, часто намного выше, чем затраты на рабочую силу. Необходимость еще более эффективного использования ресурсов становится все более актуальной в бизнесе, в научных исследованиях и в политике. Важнейшим вопросом является то, какие возможности есть у компаний в производящих отраслях, чтобы сократить не только расходы, но и использование ресурсов и выбросов, используя более эффективные технологии.

Производство, прежде всего, напрямую связано с природными ресурсами и напрямую зависит от их нехватки. Следствием этой зависимости и с учетом растущей конкуренции со стороны развивающихся стран является необходимость сокращения количества используемых

ресурсов при увеличении объема производства, а значит, и повышения производительности ресурсов. Это означает производство как можно большего количества продукции при использовании данного количества сырья и энергии [2].

Для достижения этой цели необходимо изменить парадигму: любые отходы или тепло, имеющиеся в процессе, должны рационально использоваться в другом производственном процессе. Удельное конечное потребление энергии в обрабатывающей промышленности Германии с 1960 по 2000 год сократилось на 64 %. Компании, которые сегодня получают преимущество в затратах благодаря технологиям повышения эффективности, в будущем будут еще больше укреплять это преимущество. В равной степени необходима четкая и согласованная на международном уровне политическая основа, поскольку требуемое резкое повышение эффективности использования ресурсов достижимо только при объединении политических и законодательных требований, стимулов и поощрений.

Стоимость энергии обычно играет значительную роль в принятии инвестиционных решений. Сроки окупаемости инвестиций в эффективность составляют от одного до трех лет. Однако ресурсоемкие этапы технологического процесса могут быть оптимизированы только в течение такого короткого периода времени; они не могут быть заменены или, более того, устранены. Динамика цен на сырье и энергию в последние годы будет иметь тенденцию к продолжению. Глобальные проблемы, такие как общая конкуренция за ресурсы, законодательно установленные ограничения на выбросы и демографические эффекты, в будущем будут еще более заметно определять основные параметры бизнеса компании.

Какие возможности открываются перед перерабатывающими предприятиями:

1. В промышленном производстве в целом в среднесрочной перспективе возможна экономия энергии от 25 до 30 %.

2. Повышение производительности труда, занимающее ключевое место в борьбе за конкурентоспособность, может быть достигнуто только при условии разумного и эффективного использования имеющихся ресурсов, таких как энергия, материалы и персонал. Разрыв, который возникнет между необходимым ростом производительности и растущим дефицитом ресурсов, должен быть ликвидирован за счет повышения эффективности.

Чтобы полностью использовать эту потенциальную экономию, существует настоятельная необходимость в исследованиях и действиях, сосредоточенных на следующих ключевых областях: эффективность использования энергии и материалов путем повышения стабильности процессов в механических, тепловых и химических производственных процессах и системах подход к ресурсам с замкнутым циклом/интеграция ресурсов в технологические цепочки и системы работы инфраструктуры производственных объектов и заводов без потерь устойчивого управления энергией и материалами [1].

Несомненно, самым важным фактором в отношении сохранения ресурсов является экономия материалов. Во-первых, использование материалов всегда связано с их потерями. Если удастся избежать изготовления бракованных деталей путем "производства без брака", можно внести значительный вклад в экономию ресурсов. Особенно высокая доля брака возникает на всех этапах запуска машин и установок.

Колебания в последовательности процессов, вызванные разрушительными факторами, такими как несовпадение характеристик материала или изменение воздействия окружающей среды, часто становятся причиной производственного брака, приводящего к повторной обработке или браку. Это в равной степени относится к процессам запуска и перезапуска

машин и установок, в которых еще не достигнуты или не установлены оптимальные рабочие параметры, такие как рабочая температура или рабочее давление, или даже технологические параметры, такие как рабочая сила или скорость подачи.

Дорогостоящие повторные обработки и брак с уже включенным элементом высокой добавленной стоимости приводят к огромным потерям всех ресурсов. Состояние машины и соответствующий оптимальный рабочий диапазон могут быть определены путем разработки и обеспечения подходящих методов измерения. Например, мониторинг рабочей температуры в сочетании со стратегией прогрева сокращает время, необходимое станкам для выхода на скорость, оптимизирует процесс и минимизирует деятельность, не приносящую добавленной стоимости [3].

В контексте станков и технологии формования редко можно найти интегрированные системы обратной связи, которые могут влиять на управление процессом. Следовательно, системы должны быть разработаны таким образом, чтобы надвигающиеся неисправности станка, возникновение колебаний процесса и возникающие отклонения не только измерялись, но и могли быть компенсированы или устранены системами управления. Использование систем управления может не только сократить непроизводительное время на доводку машины и установки до скорости, но и значительно повысить безопасность работы и процесса.

Еще один аспект, который не следует игнорировать, это возможность стопроцентного контроля качества. Стопроцентный контроль также помогает свести к минимуму количество неисправностей, даже в тех процессах, которые происходят спустя значительное время, и тем самым сэкономить работу и затраты, а значит и ресурсы. Для успешного внедрения механизмов контроля такого рода важно тщательно изучить как требования к оборудованию, так и требования к технологии, а также понять взаимодействие, которое существует между ними. В этом контексте влияние предшествующих процессов должно приниматься во внимание в той же степени, что и возможные последствия предлагаемых мер для последующих этапов процесса.

Третьим подходом к повышению стабильности процессов является управление активами предприятия, т.е. степень, в которой возможно планирование мер по управлению возрастом предприятия и процессом, а также технического обслуживания для сохранения стоимости, при одновременной минимизации связанных с этим работ. В будущем области управления устройствами, мониторинга состояния производительности должны быть более тесно интегрированы как на техническом, так и на организационном уровне. Это требует разработки соответствующих методов для обеспечения достаточной совместимости различных областей и перехода от использования одной машины к эксплуатации сложных систем установок.

Функциональные свойства высокоэффективных материалов (например, керамики) открывают дополнительный потенциал экономии при использовании энергии в течение всего жизненного цикла. Использование долговечных, износостойких ключевых компонентов сокращает или исключает время простоя, связанное с обслуживанием и ремонтом, и таким образом вносит значительный вклад в энергоэффективное проектирование производственных процессов [3].

Для более энергоэффективного производства самих высокоэффективных компонентов высокоэффективные керамические материалы предлагают дополнительный потенциал экономии: для достижения оптимизированной конструкции системы необходимо разместить определенные свойства материалов именно там, где они действительно необходимы.

Ключевую роль в этом играет разработка технологий соединения, специально подходящих для отдельных материалов и нагрузок на них, поскольку все более сложные процессы и функции должны быть реализованы в системах.

Потери энергии в производственных процессах сегодня часто воспринимаются как необходимое зло высококачественного производства. В частности, процессы, связанные с изменением состояния материала, термической обработкой или связанные с большими потерями материала, должны быть пересмотрены с энергетической точки зрения. Что касается машин и установок, то значительная экономия может быть достигнута за счет снижения первичной нагрузки и избежания пиковой мощности, например, за счет использования двигателей, регулируемых системами управления, частичного отключения систем и т.п. Что касается процессов, то замена процессов механической обработки на процессы формования позволяет сэкономить материал и в то же время сократить технологические цепочки при улучшении качества продукции. В краткосрочной перспективе процессы могут быть оптимизированы.

Кроме того, количество элементов, участвующих в добавлении стоимости, растет, поскольку компании концентрируются на своих ключевых компетенциях. Следствием этого являются энергоемкие логистические процессы между отдельными этапами создания добавленной стоимости. Отдельные этапы производства обычно рассматриваются и оптимизируются отдельно, без учета предшествующих и последующих процессов. Это означает, что технологии энергоемких процессов не рассматриваются на предмет их синергетически оптимального использования ресурсов [1].

В результате потенциал повышения эффективности использования ресурсов, например, за счет объединения процессов, часто остается неиспользованным. Для достижения улучшений в этой области необходимо изучить, какие технологии и процессы можно эффективно объединить, не допуская, чтобы вновь возникшая сложность перевесила преимущества. После определения рациональных интерфейсов процессов можно разработать специализированные системы и процессы для интеграции функций. Целью должно быть создание модульных, легко конфигурируемых технологических платформ для достижения гибкого сочетания процессов. В результате гибкость производства и эффективность использования ресурсов повышаются за счет сокращения технологической цепочки. Таким образом, например, объединение механической, соединительной и термической обработки позволяет добиться значительной экономии. Снижение потерь энергии с помощью систем управления

Производственное оборудование обычно оптимизируется с точки зрения стоимости установки и технологических параметров, энергетические аспекты обычно игнорируются. Эффективное использование энергии до сих пор не играет практически никакой роли в системах управления. Так, большинство систем управления не предусматривают режимов энергосбережения, хотя из-за недостатка информации они все равно могут использоваться лишь в редких случаях. Например, с точки зрения энергопотребления имеет смысл запускать вспомогательные приводные системы только тогда, когда они действительно необходимы. Однако это предполагает знание состояния машины и, в оптимальном случае, знание всего производственного процесса [2].

Необходимы действия и исследования в нескольких направлениях: одним из направлений является сбор и обработка информации, имеющей отношение к энергии, для

регистрации и оценки параметров. Для этого необходимо техническое проектирование аппаратного и программного обеспечения для датчиков и ИТ-структур с децентрализованными решениями для связи между машинами. Необходимо также учитывать давление на стоимость в этом сегменте: чтобы системы были приняты, например, стоимость датчиков должна быть снижена в 10-100 раз по сравнению с традиционными промышленными решениями.

Существует острая необходимость в принятии мер по интеграции информации об энергопотреблении на уровне завода и фабрики. Заблаговременное определение начала и окончания времени простоя позволяет выключать и снова включать машины в нужное время. Оптимизация возможна с помощью интеллектуального системного мониторинга, системной диагностики и механизмов самокоррекции.

Другой отправной точкой для ресурсосберегающей машины является проектирование приводов и конструкций, соответствующих требованиям, что позволяет избежать чрезмерного увеличения размеров. Необходимо разработать концепции гибридных приводов, соответствующих требованиям, чтобы параметры системы привода можно было гибко адаптировать к технологическим рабочим точкам и экологическим параметрам машины.

Во многих областях технологии производства процессы механической обработки являются первым выбором из-за их гибкости. С другой стороны, процессы формования обеспечивают высокую эффективность использования материалов, поэтому необходимо стремиться к более широкому их применению. Это возможно с помощью более гибких процессов и оснастки, даже для совсем небольших партий. Конечно, многие материалы необходимо нагревать, чтобы они могли быть сформированы, и для этого требуется очень большое количество энергии. Поэтому стоит попытаться заменить процессы горячей формовки процессами холодной формовки. Использование новых материалов и разработка новых технологий для холодной или полугорячей формовки позволит снизить затраты энергии при тех же или лучших свойствах компонентов [2].

Исследования станков показали, что основные нагрузки составляют до трех четвертей от общего потребления энергии и только одна четверть потребляется самим процессом. Кроме того, можно предположить, что станки фактически работают только 15 % рабочего времени на малых партиях и, в некоторых случаях, до 40 % рабочего времени на больших партиях. Оставшееся время станок проводит в состоянии ожидания или наладке, во время которой он, тем не менее, работает с полной базовой нагрузкой. Возможная экономия составляет от 10 до 25 %.

Использование энергии и материалов в замкнутых циклах ресурсов еще одна важная тема. В дополнение к улучшениям, достигнутым на сегодняшний день в сфере рециклинга и обеспечения средствами массовой информации, все чаще речь идет об интеграции ресурсных циклов в технологические цепочки и в производственные сообщества в целом. Важность последнего возрастает, в частности, потому, что специализация компаний ведет к меньшему участию в производстве конечного продукта и, следовательно, к разделению на возможные циклы.

В будущем темы исследований в области обеспечения, передачи, преобразования и восстановления энергии, а также хранения энергии должны быть более тесно связаны с машинами и процессами в области производства, в дополнение к тем областям обеспечения среды, которые рассматривались до сих пор [4].

Потери энергии в производственных процессах остаются неизбежными даже при использовании всех возможностей экономии. Энергия теряется в основном из-за того, что она уходит в окружающую среду в виде тепла. Если отработанное тепло может быть эффективно переведено в жидкость с помощью имеющихся на рынке технологий, то "уловленное" отработанное тепло может быть использовано в основном только сезонно для отопления помещений, поскольку нет возможности использовать его в необходимом количестве, при соответствующих температурах и в соответствующее время в производственном процессе.

Рекуперация энергии по коротким и прямым путям требует энергетической интеграции машин и установок с комбинированным производственным этапом. Повышение эффективности, пригодность для сложных областей применения и низкие инвестиционные затраты являются целями развития в области технологий теплопередачи и транспортировки, чтобы сделать экономически выгодным больший процент диффузных потерь в процессе в целом. В качестве примера можно привести нанопокрывание теплообменных поверхностей. Для того чтобы генерируемое отработанное тепло соответствовало потребности в технологическом тепле в нужное время и в нужном качестве, необходимы инновационные теплохранилища и циркулярные процессы, пригодные для промышленного применения, для преобразования низкотемпературного тепла в более ценную технологическую энергию.

Интересными областями развития являются тепловые насосы с сорбционным приводом, холодильные машины и трансформаторы тепла, а также производство электроэнергии из отработанного тепла, например, установки органического цикла для промышленного применения. В случае механических потерь из-за заторможенных масс механическая энергия должна рекуперироваться непосредственно в системе привода с помощью систем хранения. В сфере горячей штамповки практически вся энергия шины, используемая для нагрева, является потерянной энергией. Это эквивалентно 166 кВт·ч или 600 МДж на тонну [4].

Использование вторичного сырья из отходов производства вносит значительный вклад в повышение энергоэффективности. В идеальной ситуации перерабатываемый материал из производства может быть использован дальше без более энергоемких процессов плавления и т.п., что еще больше повышает энергоэффективность. Большой потенциал имеется в металлообработке, особенно в области отходов листового металла и штамповки. Например, до 60 % металлических листов, используемых в производстве автомобилей, в конечном итоге оказываются отходами производства. То же самое относится и к другим областям.

В настоящее время отходы листового металла и штамповки поступают на переработку стали через торговцев металлоломом. Прямое повторное использование этих отходов в отдельных компаниях до сих пор было незначительным. Подробных данных по этому вопросу пока нет. Большой потенциал имеется также в области промышленной стеклотары, поскольку в настоящее время не существует переработки соответствующих видов стекла.

Энергопотребление и энергоэффективное производство товаров в цепи поставок до сих пор играли лишь очень незначительную роль; последствия энергетической раметеризации производственной сети для обычных логистических целевых переменных до сих пор практически не изучались. Поэтому важными задачами в этой области являются создание и проверка моделей «цепей поставок энергии», и анализ их влияния на производственные сети. В то же время управление цепями поставок и традиционная логистика или интралогистика должны будут сблизиться и включить в себя аспекты поставок и периферийных процессов.

Процесс преобразования для получения процента добавленной стоимости немислим без систем снабжения и утилизации инфраструктуры завода. Системы снабжения или инфраструктуры обеспечивают производственные технологии и процессы в основном промышленными средами, такими как вода, электричество, природный газ, тепло/холод, сжатый воздух, смазочно-охлаждающие жидкости, промышленные газы и т.д.

Требования в основном определяются производственными системами. Кроме того, производственная среда и сам продукт предъявляют дополнительные требования, например, к освещению, чистоте и кондиционированию воздуха. Оптимизация в этих вопросах осуществляется локально в сфере систем снабжения на отдельных участках или на отдельных системах. Интегрированный подход между системами снабжения и производственными системами практически не существует. Все системы и структуры снабжения сегодня являются предметом проектов, которые по большей части независимы от других систем снабжения или производства. Повышение энергоэффективности за счет локальной оптимизации отдельных систем и структур уже демонстрирует заметный потенциал экономии [1].

Для ресурсосберегающего производства все источники должны быть зарегистрированы как единое целое. В настоящее время невозможно противостоять расточительному использованию ресурсов, просто потому что их невозможно найти или измерить. Инвестиционные планы составляются в основном на основе инвестиционных затрат. Поэтому необходимо добавить инструменты и методы, которые будут как можно полнее отражать соответствующие переменные в отношении энергии и материалов, и которые позволят оценивать, планировать, оптимизировать и сокращать потребление как на инвестиционной, так и на эксплуатационной фазах, к существующим ключевым системам ценностей планирования предприятий и объектов. Под тотальным энергетическим менеджментом понимается интеграция и распространение различных методов на планирование и контроль заводских и производственных систем и их процессов с целью сокращения потребления энергии.

### Список литературы

1. Energy Efficiency in Production [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/en/documents/EffPro\\_en.pdf](https://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/en/documents/EffPro_en.pdf) (дата обращения: 14.11.2021)
2. Energy-efficient production processes [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cordis.europa.eu/article/id/151460-energyefficient-production-processes> (дата обращения: 14.11.2021)
3. Fysikopoulos, A., Papacharalampopoulos, A., Pastrasб Пюб Stavropoulos, P., Chryssolouris, G. Energy Efficiency of Manufacturing Processes: A Critical Review // *Procedia CIRP*. – 2013. – pp. 628-633.
4. Urban, W. Energy Savings in Production Processes as a Key Component of the Global Energy Problem—The Introduction to the Special Issue of *Energies* // *MDPI*. – 2022. – pp. 1-4.

### References

1. Energy Efficiency in Production [Electronic resource] – Access mode: [https://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/en/documents/EffPro\\_en.pdf](https://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/en/documents/EffPro_en.pdf) (date of application: 14.11.2021)

2. Energy-efficient production processes [Electronic resource] – Access mode: <https://cordis.europa.eu/article/id/151460-energyefficient-production-processes> (date of application: 14.11.2021)
  3. Fysikopoulos, A., Papacharalampopoulos, A., Pastras, P. Stavropoulos, P., Chryssolouris, G. Energy Efficiency of Manufacturing Processes: A Critical Review // Procedia CIRP. – 2013. – pp. 628-633.
  4. Urban, W. Energy Savings in Production Processes as a Key Component of the Global Energy Problem—The Introduction to the Special Issue of Energies // MDPI. – 2022. – pp.. 1-4.
-