ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -2

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 2

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Махмудов М.И.
Бухарский государственный технический университет
Васильев М.А.
ООО "Кнауф ГИПС БУХАРА"
Нуров С.С.
Бухарский государственный технический университет

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности технологического процесса производства гипсовых материалов. Проведён анализ основных стадий производства и факторов, влияющих на потребление топливно-энергетических ресурсов. Особое внимание уделено процессу термической обработки гипсового сырья как одной из наиболее энергоёмких стадий производства. Предложен подход к снижению удельного энергопотребления на основе согласованного регулирования подачи тепловой энергии с учётом температуры процесса, влажности исходного сырья и производительности технологической линии. Представлена модель энергетического баланса и выполнена оценка влияния основных технологических параметров на удельное энергопотребление. Результаты расчётного моделирования показывают возможность снижения энергетических затрат при применении предлагаемого режима управления технологическим процессом.

Ключевые слова: гипсовые материалы, энергоэффективность, энергопотребление, технологический процесс, термическая обработка, обжиг гипса, влажность сырья, удельное энергопотребление, энергосбережение, оптимизация.

Annotation. The article discusses the issues of increasing the energy efficiency of the technological process of gypsum materials production. The analysis of the main stages of production and the factors influencing the consumption of fuel and energy resources is carried out. Special attention is paid to the process of heat treatment of gypsum raw materials as one of the most energy-intensive stages of production. An approach to reducing specific energy consumption is proposed based on coordinated regulation of the supply of thermal energy, taking into account the temperature of the process, the humidity of the feedstock and the productivity of the processing line. A model of the energy balance is presented and an assessment of the influence of the main technological parameters on specific energy consumption is performed. The results of computational modeling

ISSN 3030-3907

show the possibility of reducing energy costs when applying the proposed process control mode.

Keywords: gypsum materials, energy efficiency, energy consumption, technological process, heat treatment, gypsum firing, moisture content of raw materials, specific energy consumption, energy saving, optimization.

Annotatsiya. Maqolada gips materiallari ishlab chiqarish texnologik jarayonining energiya samaradorligini oshirish masalalari ko‘rib chiqilgan. Ishlab chiqarishning asosiy bosqichlari va yoqilg‘i-energetika resurslari iste’moliga ta’sir etuvchi omillar tahlil qilingan. Ishlab chiqarishning eng energiya talab qiladigan bosqichlaridan biri sifatida gips xom ashyosini issiqlik bilan ishlov berish jarayoniga alohida e'tibor qaratilmoqda. Jarayon harorati, xom ashyoning namligi va texnologik liniyaning ishlashini hisobga olgan holda issiqlik energiyasini etkazib berishni kelishilgan tartibga solish asosida o'ziga xos energiya sarfini kamaytirish yondashuvi taklif etiladi. Energiya balansi modeli keltirilgan va asosiy texnologik parametrlarning solishtirma energiya sarfiga ta’siri baholangan. Hisoblash modellashtirish natijalari texnologik jarayonni boshqarishning taklif etilayotgan rejimidan foydalanilganda energiya sarfini kamaytirish imkoniyatini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: gips materiallari, energiya samaradorligi, energiya iste’moli, texnologik jarayon, issiqlik bilan ishlov berish, gipsni kuydirish, xomashyo namligi, solishtirma energiya iste’moli, energiya tejash, optimallashtirish.

ВВЕДЕНИЕ.

Современное производство строительных материалов относится к числу энергоёмких отраслей промышленности, в которых значительная доля себестоимости готовой продукции формируется за счёт потребления топливно-энергетических ресурсов. В условиях роста стоимости энергоресурсов, повышения требований к рациональному использованию природного газа и электрической энергии, а также необходимости снижения негативного воздействия промышленного производства на окружающую среду повышение энергетической эффективности технологических процессов приобретает особую актуальность. Одним из перспективных направлений решения данной задачи является совершенствование режимов работы технологического оборудования и внедрение автоматизированных методов контроля энергетических и технологических параметров.

Особое значение имеет процесс термической обработки гипсового сырья, в ходе которого происходит частичная дегидратация двуводного сульфата кальция и формирование требуемых свойств гипсового вяжущего. Энергетическая эффективность данного процесса зависит от температуры и продолжительности теплового воздействия, влажности и

ISSN 3030-3907

гранулометрического состава исходного сырья, производительности технологической линии, расхода топлива, характеристик теплотехнического оборудования и уровня тепловых потерь. Отклонение указанных параметров от рациональных значений приводит либо к увеличению расхода энергетических ресурсов, либо к нарушению требуемых физико-механических характеристик готового материала. На действующих производственных линиях дополнительное энергопотребление может быть обусловлено неравномерностью подачи сырья, изменением его начальной влажности, работой оборудования при неполной загрузке, недостаточно эффективным регулированием температурного режима, избыточным расходом теплоносителя, а также потерями теплоты через ограждающие конструкции и с отходящими газами. В результате одинаковый объём готовой продукции при различных технологических режимах может характеризоваться существенно различающимися значениями удельного энергопотребления. Поэтому оценку энергетической эффективности целесообразно осуществлять с учётом взаимного влияния технологических и энергетических параметров процесса.

Одним из основных показателей при таком подходе является удельное энергопотребление, характеризующее количество энергии, затрачиваемой на производство единицы продукции:

$$e_{\text{уд}} = \frac{E}{M}$$

где $e_{\text{уд}}$ - удельное энергопотребление, кВт·ч/т; E - количество энергии, потреблённой технологическим оборудованием за рассматриваемый период, кВт·ч; M - масса произведённого гипсового материала, т. Основные стадии производства гипсовых материалов и соответствующие потоки энергетических ресурсов представлены на рис. 1.

ISSN 3030-3907

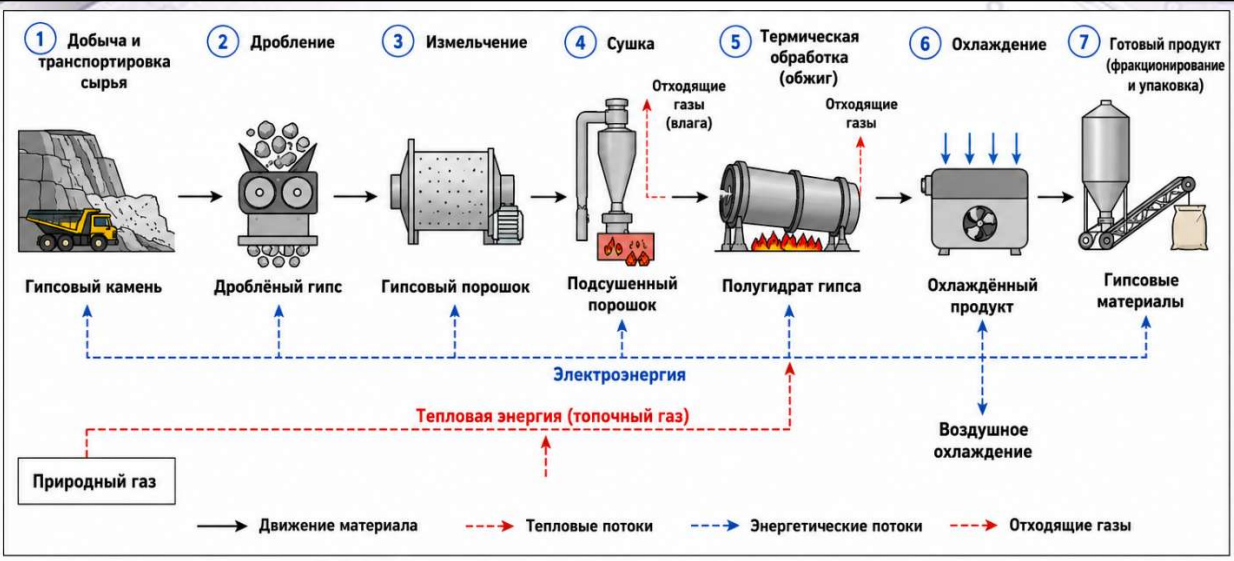


Рис. 1. Технологическая схема производства гипсовых материалов

Целью настоящего исследования является повышение энергоэффективности технологического процесса производства гипсовых материалов путём исследования взаимосвязи технологических и энергетических параметров, определения основных источников энергетических потерь и обоснования рациональных режимов работы технологического оборудования, обеспечивающих снижение удельного потребления энергетических ресурсов при сохранении требуемого качества готовой продукции. Для достижения поставленной цели предусматривается провести анализ структуры энергопотребления технологической линии, определить наиболее энергоёмкие технологические операции, исследовать влияние основных режимных параметров на расход топливно-энергетических ресурсов, сформировать математические зависимости для оценки удельного энергопотребления и на их основе разработать рекомендации по повышению энергетической эффективности производства гипсовых материалов.

Анализ технологического процесса производства гипсовых материалов и его энергопотребления. Технологический процесс производства гипсовых материалов представляет собой последовательность операций по подготовке природного гипсового сырья и его последующему преобразованию в гипсовое вяжущее с заданными физико-механическими свойствами. В общем случае технологическая схема включает дробление сырья, измельчение, сушку, термическую обработку (обжиг), охлаждение и получение готового продукта.

С энергетической точки зрения отдельные стадии технологического процесса существенно различаются. При дроблении и измельчении основным потребляемым ресурсом является электрическая энергия,

ISSN 3030-3907

необходимая для работы дробилок, мельниц, приводов конвейеров и вспомогательного оборудования. В процессе термической обработки преобладает потребление тепловой энергии, получаемой, как правило, при сжигании природного газа. Дополнительные затраты электроэнергии связаны с работой вентиляторов, дымососов, систем транспортирования и другого вспомогательного оборудования.

Наиболее энергоёмким этапом является термическая обработка гипсового сырья, при которой двуводный сульфат кальция $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ одвергается частичной дегидратации с образованием полуводного сульфата кальция:

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 0.5H_2O + 1.5H_2O$$

Для протекания данного процесса требуется подвод тепловой энергии. При этом фактические энергозатраты определяются не только количеством перерабатываемого сырья, но также его влажностью, температурой нагрева, производительностью установки и величиной тепловых потерь. Общий энергетический баланс технологического процесса можно представить в виде:

$$E_{\Sigma} = E_{\text{др}} + E_{\text{изм}} + E_{\text{терм}} + E_{\text{тр}} + E_{\text{всп}}$$

где $E_{\text{др}}$— энергозатраты на дробление; $E_{\text{изм}}$ — на измельчение; $E_{\text{терм}}$ — на термическую обработку; $E_{\text{тр}}$ — на транспортирование материала; $E_{\text{всп}}$ — потребление вспомогательного оборудования.

Анализ технологического процесса показывает, что основным резервом повышения энергоэффективности является снижение энергозатрат на термическую обработку и оптимизация режимов работы электроприводов технологического оборудования. При этом снижение температуры или расхода топлива без учёта состояния сырья может отрицательно повлиять на качество конечного продукта. Поэтому повышение энергоэффективности должно осуществляться посредством согласованного регулирования температуры, расхода топлива, производительности оборудования и параметров исходного сырья. Следовательно, для определения рационального режима производства необходимо установить количественную зависимость между указанными технологическими параметрами и удельным энергопотреблением. Это позволит минимизировать энергетические затраты на производство одной тонны готового гипсового материала без ухудшения его качества.

Разработка способа повышения энергоэффективности технологического процесса. Для повышения энергоэффективности производства гипсовых материалов предлагается использовать подход,

ISSN 3030-3907

основанный на оптимизации режима термической обработки сырья с учётом текущей производительности установки, влажности исходного материала и температуры процесса. В отличие от работы оборудования с постоянными заданными параметрами, предлагаемый подход предусматривает согласованное изменение расхода тепловой энергии в соответствии с фактической технологической нагрузкой.

Количество тепловой энергии, необходимой для обработки гипсового сырья, можно представить в виде:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{н}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{дег}} + Q_{\text{пот}}$$

где $Q_{\text{н}}$ — энергия, необходимая для нагрева сырья; $Q_{\text{исп}}$ — энергия на испарение содержащейся в сырье влаги; $Q_{\text{дег}}$ — энергия, затрачиваемая на дегидратацию гипса; $Q_{\text{пот}}$ — тепловые потери технологической установки. Энергия, необходимая для нагрева исходного материала от начальной температуры T0 до рабочей температуры T, определяется выражением:

$$Q_{\text{н}} = mc_p(T - T_0)$$

где m — масса перерабатываемого материала, кг; c_p — удельная теплоёмкость материала, кДж/(кг·°C); T_0 и T — начальная и конечная температуры материала соответственно, °C.

При изменении влажности поступающего сырья изменяется количество теплоты, необходимое для удаления избыточной влаги. Данный расход энергии может быть приближённо определён как:

$$Q_{\text{исп}} = m_w[c_w(T_{\text{кип}} - T_0) + r]$$

где m_w — масса удаляемой влаги, кг; c_w — удельная теплоёмкость воды, кДж/(кг·°C); $T_{\text{кип}}$ — температура испарения воды, °C; r — удельная теплота парообразования, кДж/кг.

Таким образом, увеличение влажности сырья непосредственно приводит к увеличению расхода тепловой энергии. Это обстоятельство необходимо учитывать при формировании заданного режима работы теплотехнического оборудования. Для количественной оценки эффективности предлагается использовать удельный расход энергии на единицу готовой продукции:

$$q_{\text{уд}} = \frac{Q_{\Sigma}}{M_{\text{пр}}}$$

где $M_{\text{пр}}$ — масса произведённого гипсового материала за рассматриваемый период.

Предлагаемый способ повышения энергоэффективности заключается в определении такого сочетания температуры обработки T, производительности G и расхода топлива B, при котором удельное

ISSN 3030-3907

энергопотребление принимает минимальное значение при соблюдении требований к качеству готового продукта. В общем виде задача оптимизации может быть записана следующим образом:

$$q_{\text{уд}}(T, G, B, W) \rightarrow min$$

где W — влажность исходного гипсового сырья.

При этом температура процесса должна поддерживаться в технологически допустимом диапазоне:

$$T_{min} \leq T \leq T_{max}$$

Практическая реализация предложенного подхода предусматривает измерение температуры в зоне термической обработки, влажности поступающего сырья и текущей производительности линии. На основании измеренных параметров корректируется подача топлива и воздуха в теплотехническую установку. При снижении производительности или влажности сырья расход топлива уменьшается, что позволяет исключить избыточный подвод теплоты. При увеличении нагрузки энергетические параметры корректируются таким образом, чтобы обеспечить требуемую степень дегидратации гипса. Таким образом, основным принципом предлагаемого способа является переход от постоянного режима подачи тепловой энергии к режиму, адаптированному к фактическому состоянию технологического процесса. Это позволяет снизить удельный расход топливно-энергетических ресурсов без нарушения требований к качеству производимых гипсовых материалов.

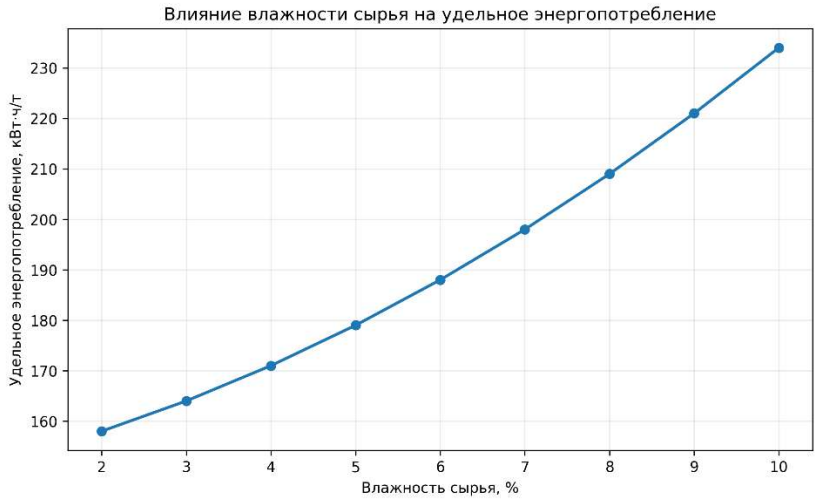


Рис. 1. Зависимость удельного энергопотребления от влажности исходного гипсового сырья.

Из графика видно, что с увеличением влажности сырья удельное энергопотребление возрастает. Это связано с дополнительными затратами тепловой энергии на нагрев и испарение содержащейся в материале влаги. Поэтому предварительный контроль влажности сырья и соответствующая

ISSN 3030-3907

корректировка теплового режима позволяют снизить избыточное потребление энергоресурсов.

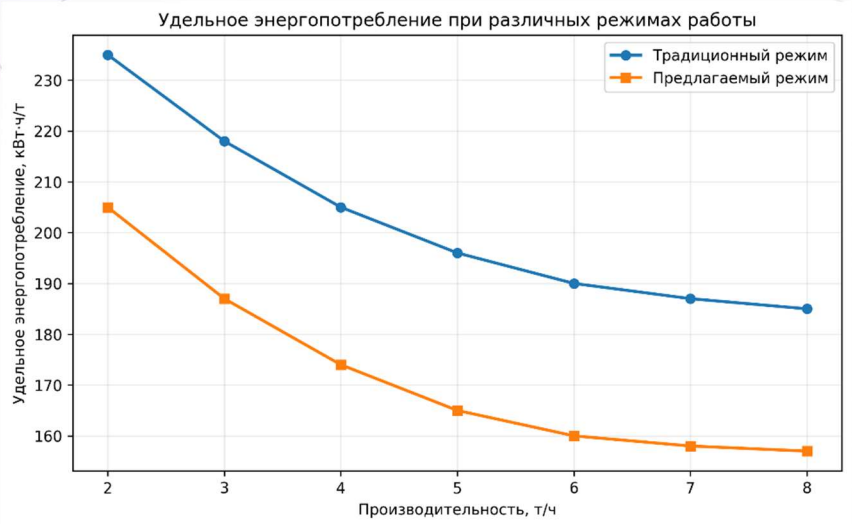


Рис. 2. Зависимость удельного энергопотребления от производительности технологической линии при традиционном и предлагаемом режимах.

Результаты расчётного моделирования показывают, что при увеличении производительности технологической линии удельное энергопотребление снижается, при этом предлагаемый режим во всём исследуемом диапазоне обеспечивает меньшие энергетические затраты по сравнению с традиционным режимом. Наибольший эффект достигается за счёт согласованного регулирования подачи тепловой энергии в зависимости от текущей производительности и состояния исходного сырья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В работе рассмотрены основные направления повышения энергоэффективности технологического процесса производства гипсовых материалов. Установлено, что существенное влияние на удельное энергопотребление оказывают влажность исходного сырья, производительность технологической линии и режим термической обработки. Предложен подход к управлению процессом, основанный на согласованном регулировании подачи тепловой энергии с учётом текущей производительности, влажности сырья и температуры обработки. Расчётное моделирование показало, что применение предлагаемого режима позволяет снизить удельное энергопотребление по сравнению с традиционным режимом работы оборудования.

Таким образом, адаптация энергетических параметров к фактическому состоянию технологического процесса является эффективным способом сокращения расхода топливно-энергетических ресурсов при сохранении требуемого качества гипсовых материалов.

ISSN 3030-3907

Полученные результаты могут быть использованы при модернизации систем управления технологическими линиями предприятий по производству гипсовых материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Şener M., Uysal T., Erdemoğlu M. Economic Evaluation of Thermal and Mechanical Activation Energies in Gypsum Production // *Bilimsel Madencilik Dergisi*. – 2024. – Vol. 63, No. 1. DOI: 10.30797/madencilik.1440130.
2. Fořt J., Černý R. Carbon footprint analysis of calcined gypsum production in the Czech Republic // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 177. – P. 795–802. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.01.002.
3. Papailiopoulou N., Grigoropoulou H., Founti M.A. Energy Analysis of the Effects of High-Level Reincorporation of Post-consumer Recycled Gypsum in Plasterboard Manufacturing // *Waste and Biomass Valorization*. – 2017. – Vol. 8. – P. 1799–1810. DOI: 10.1007/s12649-016-9750-7.
4. Cao W., Yi W., Peng J., Li J. et al. Recycling of phosphogypsum to prepare gypsum plaster: Effect of calcination temperature // *Journal of Building Engineering*. – 2022. – Vol. 45. – Article 103511. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103511.
5. Calderón-Morales B.R.S., García-Martínez A., Pineda P., García-Tenório R. Valorization of phosphogypsum in cement-based materials: Limits and potential in eco-efficient construction // *Journal of Building Engineering*. – 2021. – Vol. 44. – Article 102506. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102506.
6. Wang X., Sun S., Tian X., Liu D., Zhao F. Development of Environment-Friendly Plastering Gypsum // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Vol. 484. – Article 012048. DOI: 10.1088/1757-899X/484/1/012048.
7. Ranesi A., Faria P., Veiga R. Eco-efficiency of plasters for rehabilitation and new buildings // *Proceedings of the International Conference on Sustainable, Environmentally Friendly Construction Materials*. – 2021. – P. 91–96.
8. Souza E.C., Ferraz A.V. Study of the conversion of the dihydrate phase into β-hemihydrate from two varieties of the mineral gypsum // *Matéria*. – 2025. – Vol. 30. DOI: 10.1590/1517-7076-rmat-2024-0726.
9. Wang Y. et al. Production and resource utilization of flue gas desulfurized gypsum in China – A review // *Environmental Pollution*. – 2021. – Vol. 288. – Article 117799.

ISSN 3030-3907