

УДК 622.271:662.74

Мамасаидов Мухаммеджан Ташалиевич,
академик НАН КР ПКР, доктор технических наук, профессор
Исаев Ильязбек Эркинбаевич,
кандидат технических наук, доцент

К ТЕОРИИ ПРОИЗВОДСТВА КОЛОТЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КАМНЯ: ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МОДЕЛИ И СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ

Мамасаидов Мухаммеджан Ташалиевич,
КРП КР УИА академиги, техника илимдеринин доктору, профессор
Исаев Ильязбек Эркинбаевич,
техника илимдеринин кандидаты, доцент

ТАШТАН ЖАРЫЛГАН БУЮМДАРДЫ ӨНДҮРҮҮ ТЕОРИЯСЫ: НЕГИЗГИ ПРИНЦИПТЕР, ӨНҮКТҮРҮҮНҮН СУНУШТАЛГАН МОДЕЛДЕРИ ЖАНА СТРАТЕГИЯЛАРЫ

Mamasaidov Muhammadjan Tashalievich,
Academician of the NAS KR PKR, Doctor of Technical Sciences, Professor
Isayev Ilyazbek Erkinbaevich,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

THEORY OF PRODUCTION OF SPLIT STONE PRODUCTS: BASIC PRINCIPLES, RECOMMENDED DEVELOPMENT MODELS AND STRATEGIES

*Кыргызско-Узбекский международный университет им. Б. Сыдыкова,
кафедра «Механика, энергетика и дизайн», Ош, Кыргызская Республика*

*Б. Сыдыков ат. Кыргыз-Өзбек Эл аралык университети,
«Механика, энергетика жана дизайн» кафедрасы, Ош, Кыргыз Республикасы*

*Kyrgyz-Uzbek International University named after B.Sydykova,
Department of "Mechanics, Energy and Design", Osh, Kyrgyz Republik*

Аннотация. В статье рассматриваются современные технологии производства колотых дорожных изделий из природного камня, их эксплуатационные характеристики и перспективы применения. Представлены характеристики различных пород камня, рассмотрены основные принципы и ограничения, связанные с их использованием. Особое внимание уделено автоматизации процессов, внедрению инновационных технологий и разработке обобщённых моделей управления производством. Представлены графические данные, иллюстрирующие зависимость эффективности и себестоимости от объёмов производства. Статья подчёркивает важность экологических аспектов и устойчивости развития камнедобывающей отрасли.

Ключевые слова: Теория производства, колотые изделия из камня, основные принципы, стратегии развития, обработка камня, производственные процессы, моделирование, оптимизация ресурсов.

Аннотация. Макалада табигый таштан жасалган жол буюмдарынын жарылуу өндүрүшүнүн заманбап технологиялары, алардын эксплуатациялык мүнөздөмөлөрү жана колдонуу перспективалары каралат. Ар кандай таш түрлөрүнүн мүнөздөмөлөрү берилген жана аларды колдонуу менен байланышкан негизги принциптери жана чектөөлөр талкууланат. Процесстерди автоматташтырууга, инновациялык технологияларды ишке киргизүүгө, өндүрүштү башкаруунун жалпыланган моделдерин иштеп чыгууга өзгөчө көңүл бурулган.

Графикалык маалыматтар өндүрүш көлөмүнүн функциясы катары эффективдүүлүк менен нарктын ортосундагы байланышты чагылдырган. Макалада таш казып алуу тармагында экологиялык аспектилердин жана туруктуулуктун маанилүүлүгү баса белгиленет.

Ачкыч сөздөр: Өндүрүш теориясы, таштан жасалган буюмдар, негизги принциптер, өнүктүрүү стратегиялары, ташты кайра иштетүү, өндүрүш процесстери, моделдөө, ресурстук оптималдаштыруу.

Annotation. The article examines modern technologies for the production of fractured road products from natural stone, their operational characteristics, and usage prospects. An analysis is provided on the advantages of various types of stone, such as granite, basalt, limestone, and sandstone, as well as the risks and limitations associated with their use. Special attention is paid to the automation of processes, the introduction of innovative technologies, and the development of generalized production management models. Graphic data is presented illustrating the relationship between efficiency and cost as a function of production volume. The article emphasizes the importance of environmental aspects and sustainability in the stone mining industry.

Keywords: Production theory, split stone products, basic principles, development strategies, stone processing, production processes, modeling, resource optimization.

Природный камень издавна используется в дорожном строительстве, благодаря своей прочности, долговечности и эстетической привлекательности. В последние годы всеобщий технологический подъем позволило развить и процессы обработки камня путем раскола (расщепления), сделать их более эффективными, экологичными и перспективными. Применении колотых изделий из камня в строительстве дорожной инфраструктуры увеличивается [1,2,3,4,7].

Основными породами, применяемые в дорожном строительстве, является гранит, базальт, песчаник, известняк и сланец. Каждый из этих природных камней обладает уникальными свойствами:

гранит – обладает высокой прочностью, износостойкостью и устойчивостью к химическим воздействиям, из-за чего широко используется в строительстве различных сооружений и производстве дорожной брусчатки;

базальт – весьма прочен, износостойкий, обладает хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами, что обуславливает его использование эффективным в строительстве и производства дорожной брусчатки, а также при создании теплоизоляционных материалов;

песчаник - обломочная осадочная горная порода, состоящая из песчинок размером до 2 мм скрепленных минеральными веществами и обширно применяется в строительстве и отделке фасадов, благодаря своей доста-

точной прочности и высокой декоративности;

известняк – это осадочная порода, представляющая собой пористый камень различной плотности и оттенка с обилием в составе кальцитов (известковых шпатов). В процессе генезиса в него также входят другие минералы, которые снижают его пористость и повышают прочность;

сланец - метаморфическая горная порода с характерной слоистой структурой, которая легко расслаивается на тонкие пластины и как следствие, широко используется в строительстве для облицовки фасадов, устройства кровель (натуральный шифер), напольных покрытий, мощения дорожек, а также в ландшафтном дизайне.

К тому же природные камни обладают всеобщими преимуществами:

- устойчивостью к воздействию влаги, химических веществ и перепадам температур;
- солидным запасом в природе, длительным сроком службы;
- неоспоримой экологичностью как натуральный материал.

Процесс производства начинается с добычи сырья, отделения разных по размерам и конфигурации блоков камня от массива, которые доставляются и подвергаются к обработке в производство, где из них получают различного ассортимента колотых изделий.

В основе производства колотых изделий лежит механика разрушения, которая харак-

теризуются образованием трещины в камня под воздействием создаваемого напряжения, распространением образованной трещины, что и приводит к разделению блока камня.

Природные камни — это гетерогенные композитные твердые тела с микроструктурами, включающее кристаллы минералов, пустоты и трещины, что делает их поведение квази-хрупким [1,3,7]. Поэтому предельное напряжение разрыва камня можно представить фундаментальной зависимостью Гриффитса:

$$\sigma = \sqrt{2E\gamma/a_m},$$

где σ — предельное напряжение (Н/м²), E — модуль Юнга (Н/м²), γ — поверхностная энергия (Нм/м²), a_m — начальная длина трещины (м). Для камней типа гранита ($E \approx 50-70$ ГПа), что обуславливает более высокую устойчивость к расщеплению по сравнению с известняком ($E \approx 30-50$ ГПа). На практике методы расщепления — механические расколы камня, обеспечивают растягивающими напряжениями, поскольку камни намного слабее в растяжении (обычно составляют 5-10% от их прочности на сжатие).

При механической колке теоретически энергия, вводимая в камень, должна балансировать энергию разрушения камня:

$$W = \int \sigma d\epsilon + \gamma A,$$

где W — работа, выполненная, раскалывающей силой (Дж); A — площадь (м²) на которую действует раскалывающая сила; $d\epsilon$ — бесконечно малое изменение деформации в камне.

Анализируя раскалываемость камня замечаем, что здесь необходимо учесть вероятностные модели неоднородности природных камней в пределах месторождений, где изменение их прочности ближе всего следует распределению Вейбулла [6]:

$$F(\sigma) = 1 - \exp[-(\sigma/\sigma_0)^m],$$

где $F(\sigma)$ — интегральная функция распределения, характеризующая вероятности распределения предельного напряжения (прочности) камня по участкам месторождения; σ — случайное переменное предельное напряжение (прочность) камня, в разных участках по месторождения. Условие $\sigma \geq 0$ означает, что переменная неотрицательна; $\exp$ или e — экспоненциальная функция (основание натуральный логарифм $e \approx 2,718$); σ_0 — характерное предельное напряжение (прочность) камня; m — модуль Вейбулла, описывает степень разброса прочностных характеристик камня по участкам месторождения, при $m = 1$ распределение становится экспоненциальным, при $m \approx 3$ нормальное распределение.

Технологический цикл производства колотых изделий из камня можно представить как систему очередей (модель М/М/1 для одностадийной обработки потока образцов камня). М/М/1 — это модель в теории очередей, которая позволяет анализировать и прогнозировать такие важные показатели, как время ожидания, длина очереди и загрузка оборудования:

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda},$$

где L — условная длина очереди (задержка дефектов), λ — скорость поступления сырых образцы камня, шт./мин, μ — скорость обслуживания (скорость раскола камня), шт./мин. Автоматизация увеличивает μ на 20-30%, снижая L и согласно графика (рис.1) эффективность производства достигает на 90-95%. Максимальный уровень достигается при оптимально больших объемах производства.

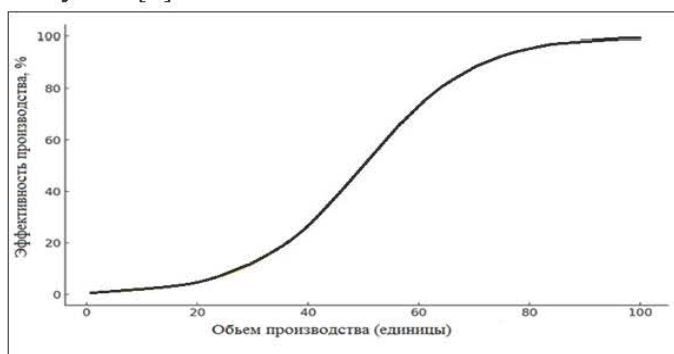


Рис. 1. Эффективность производства в зависимости от объема

Представленный ниже подход к развитию многостадийных производственных процессов (включающих добычу, первичную обработку, расщепление и контроль качества) основан на принципах теории графов. Это методология направлена на формализацию контроля цепочки формирования стоимости и минимизацию операционных издержек путём решения задачи о потоке минимальной стоимости.

Задача оптимизации формулируется как задача минимизации суммарной стоимости потока производства изделий из камня C :

$$C = \sum e_{ij} \cdot x_{ij},$$

где C - целевая функция (или суммарная стоимость затрат), которую необходимо минимизировать в данной задаче; e_{ij} - коэффициент стоимости затрат на единицу операций; x_{ij} - искомая величина (или количество/операций), которую нужно определить в процессе решения задачи; $e_{ij}x_{ij}$ - частные затраты т.е. произведение удельных затрат в объеме.

Применение данной сетевой модели позволяет не только формализовать и алгоритмизировать управление технологической цепочкой, но и обеспечить высокую степень минимизации её стоимости. Согласно заявленным оценкам, внедрение данного подхода способно обеспечить потенциальное снижение общих операционных затрат до 25%, что подтверждает его высокую эффективность для управления процессами с выраженной пространственной и временной дискретностью.

Себестоимость продукции (изделие из камня):

$$C(v) = f + vc/v + m \cdot v,$$

или гиперболическая зависимость вида

$$C(v) \approx a/vb + c, \quad b \approx 0,5 - 1$$

где f - фиксированные затраты, vc - переменные затраты на настройку, m - предельные затраты, v - объем. Себестоимость уменьшается с увеличением объёмов производства за счёт эффекта масштаба. График показывает снижение себестоимости с 1000 у.е. до 100 у.е. при больших объёмах (рис. 2).

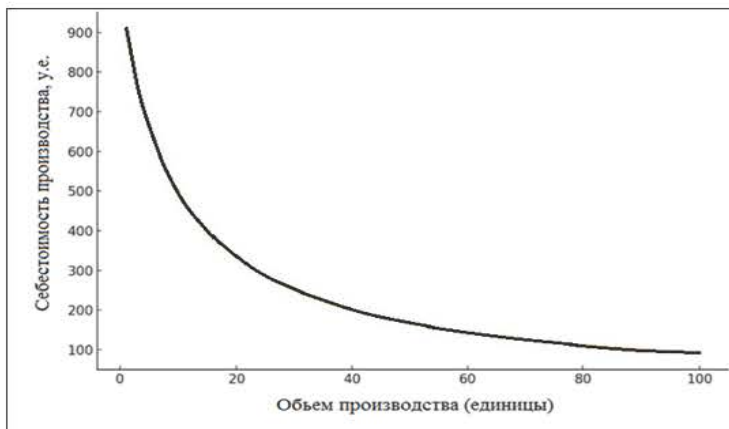


Рис. 2. Себестоимость производства в зависимости от объёма

Приведенные выше зависимости демонстрируют, как рациональная настройка производственного процесса и увеличение объёмов могут повысить эффективность и снизить затраты, минимизируя также уровень отхода.

Развитие технологий и обобщённое их моделирование позволяет значительно повысить эффективность производства. Внедрение инноваций, автоматизация и устойчивое производство открывают новые горизонты использования изделий из природного камня.

Представленные выше изыскания к теории производства колотых изделий из камня синтезирует механику разрушения, развивает модели технологий их производства и принципы устойчивости их применения. Будущие исследования должны фокусироваться на гибридных моделях, сочетающих симуляции на основе улучшения эффективности на 20-30% и снижение воздействия на окружающую среду, что обеспечить дальнейшую устойчивость индустрии колотых изделий из природного камня и развития устойчивой инфраструктуры их использования.

Список литературы:

1. Мамасаидов М.Т. Анализ себестоимости производства колотых изделий винтового камнекольного пресса [Текст]: Материалы II международной научно-практической конференции / М.Т. Мамасаидов, И.Э. Исаев // Автоматизированное проектирование в машиностроении.- Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2014.- №2.- С. 187-191.
2. Мамасаидов М.Т. Создание и испытание опытного образца малого винтового камнекольного пресса ВКП-50 [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов, И.Э. Исаев // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2015. – №2. – С.170-179.
3. И.А. Биргер. Сопротивление материалов [Текст] / Биргер И. А., Мавлютов Р. Р. // Учебное пособие.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.— 454 с.
4. Мамасаидов М.Т. Методика определения производительности камнекольных прес-сов типа ПКА [Текст]/ М.Т. Мамасаидов, Р.А. Мендекеев, Н.А. Калдыбаев // Матер.межд. научн. конф. -Бишкек, 2001. –С. 315-320.
5. Мамасаидов М.Т. Промышленные испытания опытного образца гидравлического камнекольного пресса ГКП-100 [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов, И.Э. Исаев // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2015. – №1. – С.180 -189.
6. Статистические методы распределение Вейбулла. Анализ данных (IEC 61649:2008, Weibull analysis, MOD): Москва Стандартиформ, 2020.-56с.
7. Мамасаидов М.Т. Дорожные колотые изделия из природного камня и обобщенные мо-дели их производства [Текст] / М.Т. Мамасаидов, И.Э. Исаев // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2025. – №1. – С.180 -189.