

УДК 622:622.67

ТРИЛЛЕР Е.А. (КИИ ДонНТУ), ПЕТЕЛИН Э.А. (КИИ ДонНТУ)

История инженерной механики в шахтном подъеме

Зроблено історичний огляд розвитку механіки шахтного підйому від епохи неоліту до початку XIX сторіччя.

Истории зарождения и развития горного дела, горной техники и науки, не говоря уже об истории инженерной деятельности, посвящено достаточное количество научных работ [1-10,14]. Горное дело является древнейшей отраслью производственной деятельности человека, а возникшие, в последствии, горная техника и горная наука – древнейшими на земле.

Термин «техника» произошел от греч. *techné* – искусство, ремесло, мастерство и имеет несколько трактовок. Техника - 1. Совокупность средств труда, знаний и деятельности, служащих для создания материальных благ, 2. Совокупность приемов, применяемых в каком-нибудь деле, мастерстве, 3. Собирательное: машины, механические орудия, устройства [11]. Под техникой понимают совокупность средств человеческой деятельности, созданных для осуществления процессов производства и обслуживания непроизводственных потребностей общества [12]. Таково определение техники с позиций обыденного сознания большинства специалистов. В другой формулировке [13] - "техника - совокупность средств человеческой деятельности, создаваемых для осуществления процессов производства и обслуживания непроизводственных потребностей общества. Термин техника часто используется также для совокупной характеристики навыков и приемов, используемых в какой-либо сфере деятельности человека. В технике материализованы знания и опыт, накопленные в процессе развития общественного производства. Основное назначение техники - облегчение и повышение эффективности трудовых усилий человека, расширение его возможностей в процессе трудовой деятельности, освобождение (частичное или полное) человека от работы в условиях, опасных для здоровья. Средства техники применяются для воздействия на предметы труда при создании материальных и культурных ценностей; для получения и преобразования энергии; исследовании законов развития природы и общества; сбора хранения, обработки и передачи информации; управления производственными процессами...". Это определение по сути дела главным образом описывает объекты техники.

Говоря о предназначении техники, стоит обратиться и к механике, которая по определению В.Даля есть не что иное как «искусство применять силу к делу и строить машины». А.Т.Григорян указывает [4], что началом расцвета механики как науки можно считать XVII век – век бурного развития математического естествознания. Именно тогда сформировались основные законы классической механики. Однако зарождение механических знаний относится к глубокой древности, а термин «механика» применялся в античном мире. Он происходит от древнегреческого слова *mechané*, которым называли все искусно придуманное, понимая при этом механическое искусство. Это относилось как к различным машинам и механизмам, так и вообще к «хитроумным» изобретениям. Слово *mechané* употреблялось и в несколько более узком смысле. Первоначально оно обозначало название подъемных машин, в частности машин, с помощью которых в греческих театрах поднимали и опускали актеров, и вообще механизмов, позволявших посредством силы поднимать значительные тяжести

на достаточно большую высоту. На восхождение термина «механика» к античному миру указывает и М.Д. Аптекарь [5]. В этой связи можно с уверенностью утверждать, что из всех механизмов и машин рудничный или шахтный подъем является одним из первых, которые человечество начало использовать в горном деле. Нельзя не согласиться с проф. Г.М. Еланчиком [2] в том, что «рудничная подъемная установка – крупнейшее транспортное средство современной техники», применяемое при подземной разработке полезных ископаемых.

Цель, которую поставили перед собой авторы данной статьи – экскурс в историю механики рудничного подъема от эпохи неолита до начала XIX века.

Как пишет Зворыкин А.А. [3] уже в эпоху неолита оставление естественных целиков и возрастание размеров горных выработок поставило неизвестные до того времени проблемы подъема и вентиляции. Начинают появляться канаты, но пока еще без ворота. Они применяются не только для подъема добытой породы, но и для подъема и спуска людей.

Развитие горного дела и, в частности, горной техники в странах древнего Востока может быть резюмировано следующим образом [3]: «Решающие звенья горной технологии – подъем, водоотлив и вентиляция даже не ставятся как самостоятельные проблемы горного дела, разрешаясь примитивным способом в общем комплексе горных работ».

Изучение состояния горного дела в античном обществе можно провести на примере греческих рудников в Лаврионе. Начало их разработки относится к очень раннему периоду, по существу к рубежу, разделяющему эпохи бронзовых и железных орудий (1200—1100 лет до н.э.) [3]. Интересным является тот факт, что количество обнаруженных там вертикальных и наклонных шахт превышает 2000, а их глубина доходит до 120 м. Тем не менее, для подъема широкое применение получают лестницы, укрепленные на сделанных в стенках шахт распорах, а в наклонных, под углом 25—30°, шахтах – выдолблены в породе ступени. Подъем руды на поверхность проводился в заплечных кожаных мешках. Ручной ворот, хотя и был уже известен, но не получил широкого распространения в рудниках.

В тоже время, М.Д. Аптекарь [5] и другие авторы [10] приводят несколько иные данные, где указывает, что на территории современной Греции, Югославии, Испании имелись хорошо организованные большие рудники. Транспортировка руды на поверхность осуществлялась вручную в корзинах или кожаных мешках, которые служили также для черпания воды, а в VI-V вв. до н.э. руду поднимали в бадьях с помощью ручных воротов.

Характеризуя античный этап развития горного дела и горной техники Зворыкин отмечает [3], что шахтные разработки Рима и шахтные разработки всего античного мира мало чем отличаются от шахтных разработок древнего Востока. Но три главные проблемы горного дела: подъем, вентиляция и водоотлив требовали разрешения.

Как ни удивительно, но подъемные механизмы получили широкое применение в античном мире. Они, в сущности, были единственными машинами того времени, а по этому странным кажется тот факт, что подъемные механизмы в горном деле имели ограниченное распространение. Очевидно это вызвано тем, что рабовладельческие отношения, господствовавшие в этот исторический период, не создавали предпосылок для введения даже такого примитивного механизма для подъема, как ворот. «Ручной ворот более широкое распространение получил при проводке штольни для осушки Фусинерского озера, где фактор времени прохождения штольни, видимо, играл большую роль, чем при проводке выработок, связанных с добычей полезных ископаемых» [3].

Следующий этап в развитии горного дела и горной техники – период феодального общества. Развитие феодального горного дела целесообразно рассмотреть на примере средневековой Германии. Именно в Центральной Европе, после разрушения античного мира создались наиболее благоприятные условия для развития горного дела и горной техники.

Получить наиболее полные сведения об уровне развития горного дела в конце феодальной эпохи и составить представление об эволюции горной техники в IX—XV веках можно по первой энциклопедии горного дела «О горном деле и металлургии в двенадцати книгах» (De re metallica) написанной Г. Агрикола [1]. Как отмечает Агрикола «Породу и землю и отдельно металл и руду грузят в бадьи и доставляют на поверхность или же в ближайшую штольню. Если шахтный ствол неглубокий, бадьи поднимают машиной, приводимой в движение людьми, а из глубокого ствола —



Рис.1 Подъем с помощью ручного ворота

машиной с конным приводом». Таким образом, если в античном обществе в условиях рабского труда известный уже ручной ворот не смог получить ни своего дальнейшего совершенствования, ни широкого распространения, то в условиях феодализма ручной ворот уже активно применяется (Рис.1).

Интересным является тот факт, что крепление ствола одновременно является прообразом копра на котором установлен «шкив», т.е. ворот, а на воротах закреплено уже две бадьи и таким образом осуществляется уравновешивание поднимающейся с рудой бадьи опускающейся пустой бадьей (Рис.2).

В шестой книге Агриколы дается первое описание подъемных машин пяти типов и подъемных сосудов: бадьи, корзины и мешка, которые изготавливают из бычьей кожи, дерева и металла. Данные, приводимые Агриколой, последовательно раскрывают весь процесс усовершенствования подъемных сооружений. Это

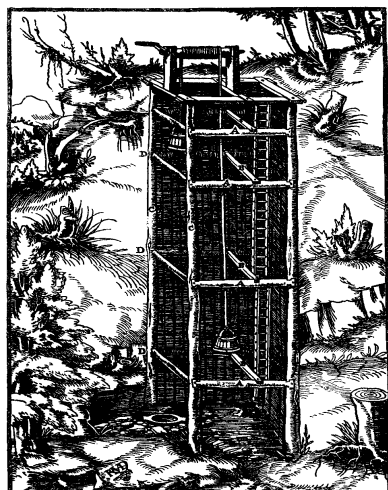


Рис.2 Крепление ствола и устройство подъема.

позволяет констатировать, что в эпоху феодализма происходят значительные технические сдвиги в горном деле и, в частности, в рудничном подъеме. Первоначально рудничный подъем выполнял также и функции водоотлива. Вот как об этом пишет Агрикола: «Обычные ведра и бадьи делают из дерева, а кожаные — из шкур. Есть два вида бадей для воды, как и для сухих материалов, а именно большие и малые. Водоотливные бадьи отличаются от других тем, что они кверху сужаются. Делается это для того, чтобы вода не проливалась при подъеме из наклонных стволов и при столкновении бадей с крепью». Наиболее простым и наиболее ранним является подъем при помощи обычного ручного ворота, приводимого в движение двумя людьми – первый тип подъемной машины (Рис.3). Большое значение имел следующий шаг, когда к ручному вороту приспособляется маховое колесо, а поворотные ручки делаются в виде накрест расположенных рычагов (Рис.4). Этот второй тип подъемной машины применяют при более глубоких шахтных стволах. Преимущество махового колеса вместе с тем показывало путь дальнейшего усовершенствования. Наблюдается стремление утяжелить обод колеса кусками свинца и тем самым с большой пользой,

когда к ручному вороту приспособляется маховое колесо, а поворотные ручки делаются в виде накрест расположенных рычагов (Рис.4). Этот второй тип подъемной машины применяют при более глубоких шахтных стволах. Преимущество махового колеса вместе с тем показывало путь дальнейшего усовершенствования. Наблюдается стремление утяжелить обод колеса кусками свинца и тем самым с большой пользой,



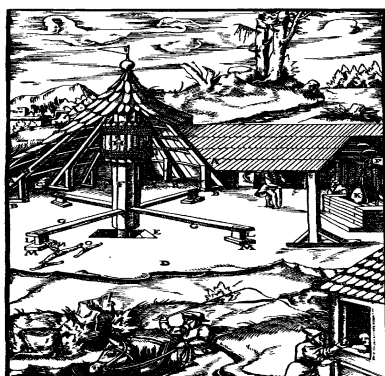
Рис.3 Подъем при помощи ручного ворота.



Рис.4 Подъем с маховым колесом.



Рис.5 Подъемная машина с топчаком.



использовать крутящий момент. Таким образом, при подъеме с незначительной глубины рукоятку вращает один рабочий и второго заменяет колесо, а при подъеме с большой глубины у рукояток работают трое рабочих и четвертого заменяет колесо. Стремление увеличить эффективность подъема, осуществляемого человеком, приводит в конце концов, к появлению и широкому развитию топчаков – подъемной машины третьего типа. Она работает медленнее, но поднимает большие тяжести, как и все машины с зубчатыми колесами, с глубины до 180 футов. Рабочие держатся руками за штангу, прикрепленную к двум вертикальным столбам, и, отталкивая ногами назад ступеньки (поперечины) на нижнем круге, приводят во вращение машину. После подъема разгрузки бадьи, наполненной материалами, они начинают вращать машину в противоположном направлении, чтобы поднять следующую бадью (Рис.5). В конце XV – начале XVI веков делается по существу важный шаг в деле применения для подъема силы животных и замены человека на топчаках. Это сопровождается конструированием специального конного привода вначале, вероятно, с вертикальным барабаном и канатом, перекинутым через специальные направляющие ролики – подъемная машина четвертого типа (Рис.6).

Вероятность перетирания веревки при этой системе подъема приводит к появлению конного привода с барабаном на горизонтальном валу, который при помощи специальной шестерни зацепления, приводится в движение от вертикального вала, вращаемого силой животных – подъемная машина пятого типа (Рис.7). Совершенствование подъемных механизмов неизбежно вызывало усложнение всех поверхностных сооружений шахты. Так в этих сооружениях появляются два этажа: верхний, где находится работающее животное (привод подъемной машины), и нижний, где производится разгрузка. Как указывает Агрикола, «четвертая машина поднимает тяжести в шесть раз больше, чем две первые». Подъемная машина пятого типа так же приводится в движение лошадьми и имеет два вала, а именно: вертикальный вал, с которым в помещении под землей соединяется гребенчатое колесо, и горизонтальный вал с цевочным барабаном. На горизонтальном валу закреплены два барабана, но меньшего размера. Эта подъемная машина способна поднимать бадьи из шахтного

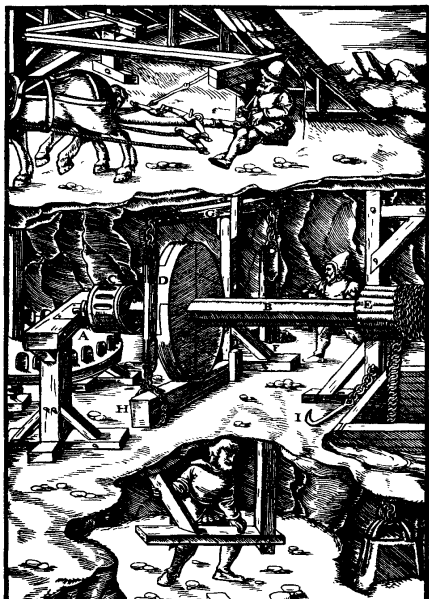


Рис.7 Подъемная машина с горизонтальным барабаном и тормозом

ствола глубиной 240 футов и имеет тормозное приспособление в виде тормозного барабана к которому при помощи системы рычагов в нужные моменты времени прижимается тормозная колодка и замедляет или останавливает подъем для разгрузки бадей. По существу эта тормозная система явилась прообразом современных тормозов подъемных машин, появившихся только в середине XIX столетия. Усложнение механизма подъема толкает на изучение законов трения: с одной стороны имеется необходимость свести трение к минимуму во всех основных частях подъемных машин, а с другой — увеличить это трение на тормозных приспособлениях. Агрикола подчеркивает: «Над тормозным диском устраивается досчатый настил для того, чтобы его не смачивала просачивающаяся вода. Если диск смочен, тормозная колодка слабее удерживает машину (уменьшается сила торможения)».

Агрикола обращал внимание на то, что первые подъемные машины применялись также и для нужд водоотлива, т.е. транспортируемым на поверхность грузом являлась вода. Так как, особенно при первых шагах развития подъема не было большой разницы, поднималась ли в бадьях руда, или в специальных кожаных сосудах вода. Агрикола приводит три системы ковшевого элеватора, различие между которыми заключается прежде всего в двигателе. В первом случае элеватор приводится в движение при помощи силы человека, во втором случае при помощи топчакон, в третьем – при, помощи водяного колеса (Рис.8).

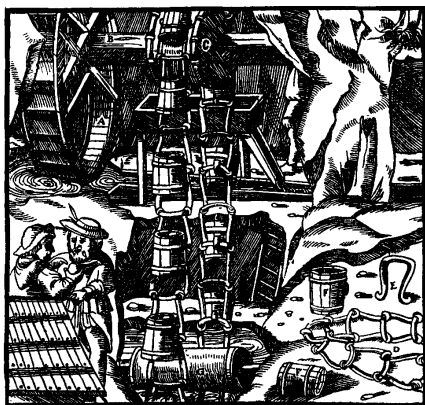


Рис.8 Элеватор приводится в действие водяным колесом

Тяжелые предметы: валы, железные цепи, трубы и большие бревна опускают в шахту при помощи машины изображенной на рис.1. В тоже время, при значительном прогрессе в механике подъема полезного ископаемого, гораздо меньшие успехи мы можем наблюдать за этот период в деле подъема людей. И спуск, и подъем осуществляются прежде всего по лестницам, для чего создаются лестничные отделения, а также на досках, на седле или в корзине из ивовых прутьев, привязанных к концу каната ручного ворота. Описывает Агрикола скатывание горняков на коже, подвязанной сзади к бедрам, по наклонным шахтам, придерживающихся при этом за натянутый канат, а также применение винтообразных лестниц, особенно там, где в шахту необходимо спускать животных.

Подводя итог развитию механики подъема в период с IX до начала XVI века, можно констатировать, что в описаниях Агриколы [1] мы встречаем уже выделение конструктивных элементов подъемной машины, присущих современным подъемным установкам. Это привод (вертикальный вал, с которым в помещении под землей соединяется гребенчатое колесо, горизонтальный вал с цевочным барабаном и конная тяга), тормозной барабан, тормозные колодки, барабан для навивки подъемного каната,

направляющие шкивы, здание подъемной машины (двухуровневое), расположенное на некотором расстоянии от ствола шахты.

Практически развитие подъемников идет по следующим путям: ручной ворот для неглубоких шахт, конный ворот и подъемник, приводимый в действие гидравлическим колесом. В центре внимания технической мысли остается подъемник, приводимый в действие гидравлическим колесом. Здесь характерной тенденцией является переход от вертикально расположенных барабанов к горизонтально расположенным барабанам над устьем шахты. По мере углубления шахт нарушалось соотношение в весе опускаемой порожней бадьи и цепи с поднимаемой бадьей. Так как конические барабаны были неизвестны, равномерность подъема обеспечивалась регулированием воды, идущей на гидравлическое колесо.

В 60-е годы XVIII века выдающийся русский гидротехник и изобретатель Фролов строит уникальные по тем временам гидросиловые установки на алтайских Змеиногородских рудниках, не имевших аналогов в мировой практике [14]. Используя идеи Ломоносова, К.Д. Фролов построил подъемное устройство на Вознесенской шахте. Оно состояло из цепи, обегавшей два барабана: ведущий (верхний) и ведомый (находившийся на дне шахты). К цепи через каждые 4,3 м были прикреплены овальные бадьи, всего их было 36. Это устройство («патерностер») поднимало с глубины 68 м от 5 до 6 тыс. пудов руды за смену. Позже подобное устройство было смонтировано на Преображенской шахте. Здесь вода приводила в движение верхнебойное колесо рудоподъемной машины. Эта машина, запущенная в работу в 1785 г., поднимала руду из выработок, расположенных на глубине 45, 77 и 102 м. Водяное колесо машины имело в диаметре 4,3 и было шириной 1,8 м. Колесо имело тормозное устройство. В то время гидротехническая система Фролова не имела себе равных в Европе.

Наступающий XIX век открывает новую страницу в развитии шахтного подъема, характеризуемую широким применением паровых и электрических машин.

Список литературы

1. Агрикола Г. О горном деле и металлургии в двенадцати книгах (главах). Под ред. С.В. Шухардина. – 2-е изд. – М.: Недра, 1986. – 294 с.
2. Г.М. Еланчик Рудничные подъемные установки. М.: Гос.науч.-тех. издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1941.
3. Зворыкин А.А. История горной техники. – М.: Углетехиздат, 1949.
4. Григорян А.Т. Механика от античности до наших дней. – М.: Наука, 1971.
5. Аптекарь М.Д., Рамазанов С.К., Фрегер Г.Е. История инженерной деятельности. – Киев: издательство «Аристей», 2003. – 568 с.
6. История механики в России. АН УССР – К.: Наукова думка, 1987, 67 с.
7. В.С.Пак Горная механика. – М.: Горное издательство, 1932.
8. Надеждин Н.Я. История науки и техники / Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 621 с.
9. Развитие горной науки. М., Недра, 1977, 343 с.(ИГД им. А.А. Скочинского).
10. Техника в ее историческом развитии от появления ручных орудий труда до становления машинно-фабричного производства. М.: Наука, 1979, 416с. Коллектив авторов.
11. Ожегов С.И. Словарь русского языка, 20-е изд., М., "Русский язык", 1988.
12. "Техника", в: "БСЭ", 3-е изд., М., "СЭ", 1976, т.25,с.522-525.
13. БЭС, т.2, М.,СЭ, 1991.(гл. ред. А.М.Прохоров).
14. Курбатова О.А., Харин А.З. История развития горной механики: Учеб. пособие.- Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2004.-137 с.