



Разработка длинными очистными забоями угольных пластов средней мощности

Сравнение эффективности струговой и комбайновой
выемки в сопоставимых условиях эксплуатации

Д-р Майкл Мышковский и д-р Ули Пашедаг

1. Значение угля

В настоящее время уголь играет важную роль в электроэнергетике. И эта роль в предстоящие десятилетия сохранится, хотим мы этого или нет. На базе угля сейчас производится 40 % электроэнергии в мире, и таким останется вклад угля еще в течение долгого времени.

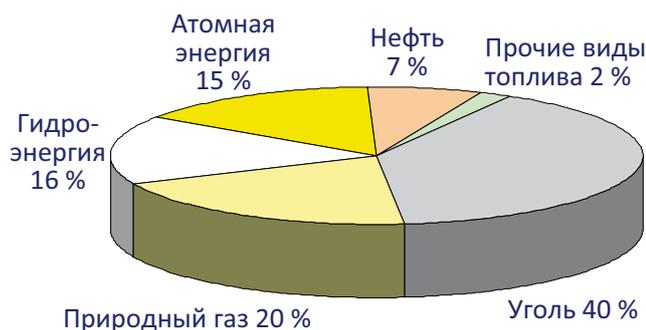


Рис. 1. Производство электроэнергии в мире по видам топлива в 2005 г. [46]

Запасами угля обладают практически все страны, при этом извлекаемые запасы угля есть примерно в 70 странах. При современном уровне добычи угля его достоверных запасов хватит на последующие 147 лет [46], хотя по другим источникам этот срок составляет 200 и более лет [14]. В противоположность этому достоверных запасов нефти и природного газа хватит примерно на 41 и 63 года соответственно при условии сохранения текущих объемов добычи. Согласно многочисленным источникам, «достоверных запасов» урана при современном уровне потребления хватит на 50 лет. Кроме того, использование атомной энергии лимитируется экономическими факторами и серьезными проблемами, связанными с утилизацией радиоактивных отходов. Что касается гидроэнергии, то ее использование достигло, видимо, своего верхнего предела [5]. Важной задачей является расширение использования возобновляемых энергоресурсов для производства электроэнергии (сегодня примерно 2 %), но на это потребуются продолжительное время, поэтому в ближайшие несколько десятилетий не удастся серьезно изменить соотношение энергоносителей, показанное на рис. 1. В итоге, согласно прогнозу Международного энергетического агентства (МЭА), спрос на уголь в 2050 г. должен быть выше, чем сегодня.

В условиях таких экологических проблем, как глобальное потепление и загрязнение атмосферы, производство электроэнергии на базе угля необходимо максимально модернизировать. Учитывая, что уголь сохранит свое значение в производстве электроэнергии и останется важной составляющей сбалансированного набора энергоносителей в будущем, представляется необходимым предпринять следующие шаги.

1. Следует и дальше повышать чистый КПД угольных электростанций, расширять внедрение и совершенствовать конструкцию котлов со сверхкритическими параметрами пара.
2. На смену сжиганию угля должен постепенно прийти экологически приемлемый способ газификации угля.
3. Необходимо более широко использовать очистку дымовых газов, за счет чего уже сегодня можно обеспечить любой уровень очистки эмиссионных газов.
4. Следует расширять использование системы улавливания и хранения CO₂.

Упомянутые выше меры, естественно, выразятся в повышении эксплуатационных расходов на производство электроэнергии. Тем не менее, поскольку эти расходы являются обязательными, в долгосрочной перспективе они позволяют обеспечить выработку чистой энергии на базе угля.

2. Подземная разработка маломощных угольных пластов

Отработка маломощных пластов приобретает все большее значение, так как мощные пласты угля интенсивно отработывались в течение прошедших лет. Поэтому богатые запасы угля высокого качества залегают в пластах малой мощности. На рис. 2 представлено распределение запасов угля по пластам различной мощности в Рурском бассейне Германии [7]. Согласно статистическим данным, запасы примерно 80 % месторождений сосредоточены в пластах мощностью менее 1,5 м. Доля извлекаемых запасов угля, залегающих на глубине до 1 500 м в пластах мощностью от 0,6 до 1,5 м, составляет до 60 % всех запасов каменного угля.

Аналогичная ситуация сложилась и в других странах. В США, как ожидается, в последующие пять лет усилится тенденция к увеличению добычи угля из пластов меньшей мощности (менее 1,675 м, или 66 дюймов) [44]. В КНР, в соответствии с оценками, доля запасов угля, залегающих в пластах мощностью менее 1,3 м, достигает 25 %.

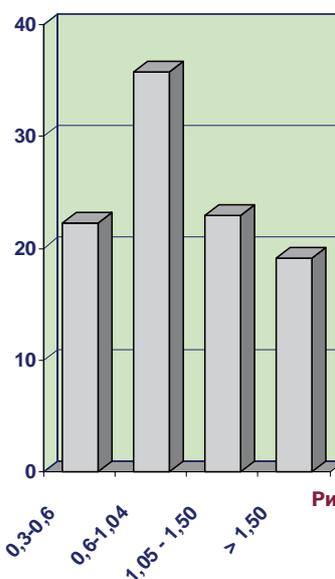


Рис. 2. Распределение по мощности пластов запасов каменного угля в Рурском бассейне

Для того чтобы обеспечить экономически эффективную отработку этих запасов, необходима высокоэффективная технология выемки. Такие пласты можно отработывать различными способами. На сегодняшний день широко используются два способа подземной разработки пластов угля:

- камерно-столбовая система;
- длинными очистными забоями.

Камерно-столбовая система разработки широко используется в США. При такой системе разработки в угольном пласте выемка осуществляется камерами, при этом между камерами оставляются целики, или столбы, угля, предназначенные для управления кровлей и вентиляционной струей. В основном камеры имеют ширину от 6 до 10 м, ширина целика составляет до 30 м. По мере подвигания забоя формируется сетчатая структура, состоящая из камер и столбов. Существует два вида технологии отработки угля в условиях камерно-столбовой системы:

- традиционная выемка;
- непрерывная выемка.

Традиционная технология выемки угля – старейший метод, используемый в настоящее время. В процессе традиционной выемки производится подрубка угольного пласта, бурение шпуров, отбойка угля взрывом и погрузка угля в вагонетки. При использовании непрерывной технологии выемка угля осуществляется непосредственно комбайнами непрерывного действия, так называемыми «Континиус майнер» (continuous miner), при этом отпадает необходимость в буровзрывных работах.

По сравнению с отработкой длинными забоями камерно-столбовая система разработки пластов малой мощности является значительно менее эффективной, так как около 50 % запасов угля теряется в виде неизвлекаемого целика.

Помимо камерно-столбовой системы используется система отработки угольных пластов длинными очистными забоями. Существует две технологии выемки угля длинными забоями: комбайновая и струговая. В немецкой каменноугольной промышленности в течение длительного времени применяются обе технологии. В прошедшие десятилетия был период, когда доминировали обе технологии выемки. В период между 1950-ми и 1980-ми годами в каменноугольной промышленности Германии заметно преобладала струговая технология выемки. В первой половине 1990-х более совершенной стала комбайновая выемка, что вывело ее на первый план. С тех пор масштабы использования комбайновой технологии опережали струговую технологию. Такое положение сохранялось более десяти лет, однако, в настоящее время наметилась тенденция к возврату и использованию всех преимуществ струговой технологии. В ближайшем будущем струговые комплексы вновь выйдут на первое место в статистических отчетах по длинным очистным забоям Германии [11].

Сегодня существует масса предубеждений в отношении возможностей струговой технологии. Во многих странах бытует широко распространенное мнение, основанное на опыте далекого прошлого, что струговые системы обладают более низкой производительностью по сравнению с комбайнами. Объективный анализ, учитывающий все имеющиеся данные, и детальное сопоставление двух технологий позволят пролить свет на проблему и дать научно обоснованный ответ на вопрос, касающийся угольных пластов средней мощности: очистной комбайн или струговая установка?

3. Сравнение струговой и комбайновой технологий

В прошлом существовали различные подходы приведения обеих технологий к общему знаменателю, при этом в большинстве случаев отсутствовал комплексный подход. Чаще всего сопоставлялись технические параметры комбайнов и стругов, иногда рассматривалась технология, однако, примеры целостного анализа практически невозможно найти в литературе. Тем не менее, всестороннее сопоставление двух различных технологий имеет смысл только при условии комплексного подхода, учитывающего все важнейшие технические, эксплуатационные и экономические факторы (рис. 3).



Рис. 3. Уровни сравнения комбайновой и струговой технологий

Ниже представлено краткое изложение результатов обширного исследования, посвященного многоуровневому сравнению эффективности комбайновой и струговой выемки.

4. Эксплуатационные аспекты

С технологической (эксплуатационной) точки зрения существуют два наиболее важных фактора, определяющих производительность длинного очистного забоя: во-первых, «коэффициент использования рабочего времени» (TUD) и «коэффициент машинного времени» (PUD). К числу других важных факторов, связанных с TUD и PUD и характеризующих организационную и технологическую эффективность, относятся «площадь выемки» и «суточное подвигание забоя». И, наконец, важную роль в некоторых случаях играет фактор постоянства грузопотока.

4.1. Способы отработки угля в длинных забоях

Существуют различные способы выемки угля, как в комбайновых, так и струговых лавах. Выбор того или иного способа определяется следующим:

- скоростью комбайна или струговой установки при движении по направлению к бортовому и к главному штреку;
- глубиной захвата очистного комбайна или струговой установки в процессе движения к бортовому и главному штреку;
- скоростью движения забойного скребкового конвейера в процессе перемещения комбайна или струговой установки по направлению к бортовому и главному штреку. Как правило, эти способы можно подразделить на следующие.

Для очистного комбайна

- Двусторонняя выемка – комбайн вынимает уголь при движении в обоих направлениях, осуществляя две зарубки по концам лавы в течение полного цикла операций.
- Односторонняя выемка – комбайн отбивает уголь при движении только в одну сторону, осуществляя одну зарубку. В течение обратного хода он производит зачистку почвы.
- Выемка на половину глубины захвата – комбайн производит выемку на полную глубину захвата только на концах лавы, а по всему забою – только наполовину, с тем, чтобы избежать операции зарубки.
- Частичная (половинная) отработка забоя – комбайн при движении в одну сторону производит выемку на полную глубину захвата, отработывая верхнюю часть угольного пласта при помощи одного шнека, и при движении в обратную сторону комбайн вынимает нижнюю часть пласта при помощи другого шнека. При этом зарубка производится в середине лавы.

Обычно комбайн производит выемку на полную глубину захвата или наполовину захвата. Объем грузопотока (угля) в большинстве случаев регулируется за счет установки требуемой скорости движения комбайна.

Для струговой установки

- Традиционный способ – корпус струга движется в обоих направлениях со скоростью ниже, чем скорость движения забойного скребкового конвейера, обеспечивая относительно большую глубину резания.
- Комбинированный способ – корпус струга движется в сторону бортового штрека быстрее, чем забойный конвейер, а по направлению к главному штреку – медленнее.
- Обгоняющий способ – корпус струга перемещается в обоих направлениях быстрее, чем забойный конвейер, обеспечивая относительно небольшую глубину резания.

Струговая установка всегда производит выемку угля на полную высоту забоя в обоих направлениях движения, хотя при работе по мягкому углю высота корпуса струга обычно меньше, чем высота забоя. Объем грузопотока материала можно регулировать за счет установления необходимой скорости движения струга или глубины резания. Глубина резания при движении в обоих направлениях часто бывает неодинаковой благодаря использованию современных систем управления, позволяющих оптимизировать процесс выемки. Если ситуация позволяет, процесс идет без зарубки, что достигается за счет использования метода так называемого «двойного вруба» по обоим концам лавы.

4.2. Коэффициенты использования

Существует два коэффициента использования, определяющиеся организационными и технологическими факторами:

- коэффициент использования рабочего времени;
- коэффициент машинного времени.

Полный цикл, как показано на рис. 4, представляет собой общую продолжительность времени работы бригады горнорабочих в лаве. Это время можно привязать к одной смене или, как в большинстве случаев, к рабочему дню. Теоретически это время, в течение которого лава может находиться в режиме эксплуатации.

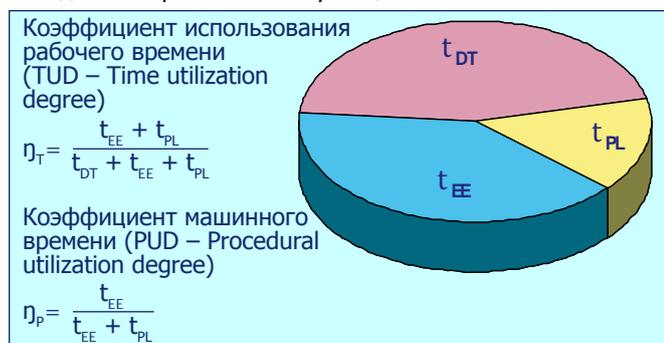


Рис. 4. Коэффициенты использования рабочего и машинного времени в длинном очистном забое:

- t_{EE} – эффективное время выемки, мин/сут;
- t_{DT} – аварии, простои, мин/сут;
- t_{PL} – производственные потери времени, мин/сут;
- η_T – коэффициент использования рабочего времени;
- η_P – коэффициент машинного времени

4.2.1. Коэффициент использования рабочего времени

Коэффициент использования рабочего времени, также называемый «готовность», характеризует долю суммарного времени работы комбайна или струговой установки в общей продолжительности рабочего дня или смены. В практических целях коэффициент TUD выражается в процентах и определяется по следующей формуле:

$$\eta_T = \frac{t_{RT}}{t_{OT}} \cdot 100 \quad (1)$$

где:

- t_{RT} – общая продолжительность работы комбайна или струговой установки в течение рабочего дня (мин/сут);
- t_{OT} – продолжительность рабочего дня (мин/сут);
- η_T – коэффициент использования рабочего времени (%).

За исключением времени на проведение планового технического обслуживания или осуществление некоторых специальных непроизводительных операций все остальное время, когда бригада находится в забое, теоретически может быть эффективно использовано для добычи угля. Так, однако, происходит редко. В практических условиях производственный процесс прерывается. Такие остановки могут быть вызваны следующими причинами:

- внутренними, например, операциями, требующими остановки производственного процесса, остановками в результате чрезмерной нагрузки, отключения оборудования из-за превышения содержания метана, неисправности оборудования, несчастных случаев и т.д.;
- внешними, в том числе (но, не ограничиваясь этим) – остановка транспортной системы, аварии в системах подачи электрической и гидравлической энергии, повреждение системы связи и т.д.

Значение коэффициента TUD может значительно варьироваться. В среднем TUD в длинных очистных забоях изменяется от 40 до 70 % [18], [36], [39]. Самое низкое значение коэффициента TUD, по данным различных источников, составляет 30 % [39], самое высокое достигает более 90 % [26], [29].

На угольных шахтах Германии коэффициент TUD в комбайновых лавах в среднем несколько выше, чем в струговых лавах. Это связано с операциями в местах сопряжений лавы со штреком. Так как продолжительность полного цикла работы струговой установки меньше, чем комбайна, различные виды работ, требующие больших затрат времени, служат причиной приостановки производственного цикла. Нельзя подтвердить эту тенденцию, анализируя работу самых высокопроизводительных комбайновых и струговых забоев, на примере которых невозможно обнаружить значительных различий в работе комбайна и струговой установки.

4.2.2. Коэффициент машинного времени

Коэффициент машинного времени PUD, который также называют «коэффициентом использования оборудования», характеризует степень использования производственного оборудования в лаве. Коэффициент PUD показывает долю времени работы оборудования, которая соответствует работе комбайна или струговой установки с номинальной глубиной резания и с номинальной скоростью.

Важную роль в оптимизации производства в длинном очистной забое играет правильный выбор способа выемки. Это утверждение справедливо в равной степени как для струговой, так и для комбайновой лавы.

И очистной комбайн, и струговая установка только часть общего рабочего времени работают с номинальной глубиной резания и номинальной скоростью. Остальное время они перемещаются с меньшей скоростью и/или обеспечивают меньшую глубину захвата или передвигаются в режиме холостого хода в следующих случаях:

- выемка на половину глубины захвата при использовании способа «Выемка на половину глубины захвата»;
- погрузка угля при движении обратным ходом (способ «Односторонняя выемка»);
- ускорение в начале движения по направлению к другому концевому участку лавы;
- снижение скорости при приближении к штреку;
- перемещение без выемки угля (остановка) после смены направления движения;
- операции по зарубке;
- опускание/подъем поворотного редуктора, поворот ограждающих щитов.

Производственные потери можно подразделить на:

- потери времени в результате снижения скорости подачи;
- потери времени, связанные с уменьшением глубины захвата.

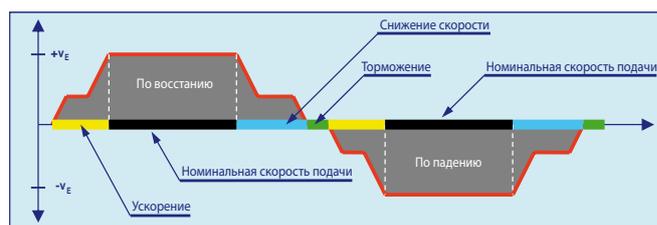


Рис. 5. Потери, обусловленные снижением скорости подачи машины

На рис. 5. показан механизм образования потерь времени в случаях, когда выемка ведется со скоростью меньше номинальной, или вследствие эксплуатационных простоев. Так, комбайну или струговой установке после включения двигателей требуется некоторое время на разгон до номинальной скорости. В струговой установке, оснащенной двигателями с переключаемыми полюсами, сначала идет включение первой скорости, а спустя пару секунд идет переключение на номинальную (вторую) скорость. После этого в течение определенного периода времени комбайн или струговая установка перемещаются с номинальной скоростью. При приближении к концу лавы производится снижение скорости до первой, а затем через некоторое время перед выходом на конец лавы скорость снижается до полной остановки машины. Спустя короткое время в случае струговой

установки или более длительное время в случае комбайна (пока оператор поворачивает шнеки и оградительные щиты) начинается выемка в противоположном направлении.

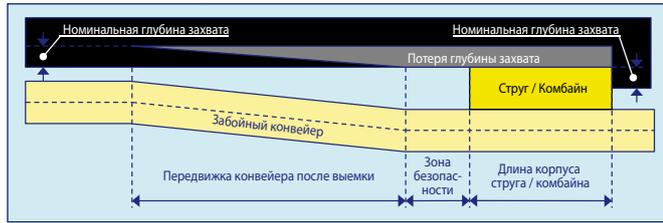


Рис. 6. Потери, обусловленные уменьшением глубины захвата

На рис. 6 представлены источники формирования потерь вследствие уменьшения глубины захвата. Передвижка забойного конвейера выполняется после того, как комбайн или струговая установка отойдут на определенное расстояние. При изменении направления движения в лаве комбайн или струговая установка не производят выемку в пределах этой зоны. В результате выемка по всей протяженности изгиба конвейера в среднем ведется на половину глубины захвата. Только за пределами зоны изгиба конвейера машина работает опять на полную глубину захвата. Такая ситуация повторяется после каждого реверса движения машины.

Уменьшение глубины захвата по сравнению с номинальной в режиме реверсивного движения относится к этой категории. Уменьшение на 50 % глубины захвата при использовании способа «Выемка на половину глубины захвата» или в случае, когда обратный ход выполняется без выемки угля в варианте «односторонней выемки» относится к категории потерь времени вследствие уменьшения глубины захвата.

Оба типа потерь времени, которые относятся к гипотетическому времени выемки с номинальными скоростью и глубиной захвата, вносят свой вклад в формирование коэффициента машинного времени. Поэтому PUD никогда не достигает 100 % даже при самых благоприятных условиях, как для очистных комбайнов, так и для струговых установок. Это обусловлено тем, что оба типа машин требуют разворота на концевых участках лавы.

На практике PUD легко определить, если известны время работы комбайна или струговой установки в течение суток и суточное подвигание забоя. При условии, что скорость подачи и глубина захвата соответствуют номинальному значению, можно использовать следующую формулу:

$$\eta_p = \frac{I_f \cdot I_A}{\Delta_w \cdot V_E \cdot t_D \cdot 60} \cdot 100, \quad (2)$$

где:

I_f – длина лавы, м;

I_A – суточное подвигание забоя, м/сут;

Δ_w – номинальная глубина захвата, м;

V_E – номинальная скорость выемки, м/с;

t_D – общая продолжительность работы комбайна или струговой установки в течение суток, мин/сут;

η_p – коэффициент машинного времени PUD, %.

Величина коэффициента PUD варьируется для комбайновых и струговых лав. Опыт показывает, что величина PUD составляет для:

- комбайнов: от 20 до 75 % [16], [17], [26], [38];
- струговых установок: от 40 до 95 % [23], [24], [30].

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что PUD для струговых лав выше, чем для комбайновых. В случае комбайновых лав самый низкий PUD обеспечивается при использовании способа «двухсторонней выемки» и самый высокий при «выемке на половину глубины захвата» [4], [26], [35]. В случае струговых лав самый низкий PUD характерен для варианта выемки стругом отдельных участков. Самый высокий PUD достигается в случае резания от одного конца лавы до другого при выемке двойной глубины захвата на концевых участках лавы. Как и в случае комбайновой выемки «на половину глубины захвата», в последнем варианте удается избежать двойного разворота струговой установки в лаве, за счет чего достигается максимальное значение коэффициента PUD.

4.3. Площадь выемки

Площадь выемки – важный фактор, характеризующий производительность длинного очистного забоя. Этот параметр показывает, какая площадь почвы или кровли обнажается в единицу времени. Рассчитать площадь выемки можно, зная либо фактическое время работы оборудования, либо операционное время. Используя показатель фактического времени работы, площадь выемки можно определить по следующей формуле:

$$\dot{A} = \Delta_w \cdot V_E \cdot \eta_p \cdot 60 = \frac{I_E \cdot I_A}{t_D}, \quad (3)$$

где:

\dot{A} – площадь выемки (м²/мин).

Согласно опыту работы немецкой каменноугольной промышленности и имеющимся статистическим данным, площадь выемки, рассчитанная на основе фактического времени работы оборудования в струговых лавах, как правило, выше, чем в комбайновых лавах. Результаты обширных исследований, выполненных в 75 очистных забоях на шахтах Германии в течение последних пяти лет, свидетельствуют о том, что площадь выемки в струговых лавах на 58 % превышает аналогичный показатель в комбайновых лавах [37].

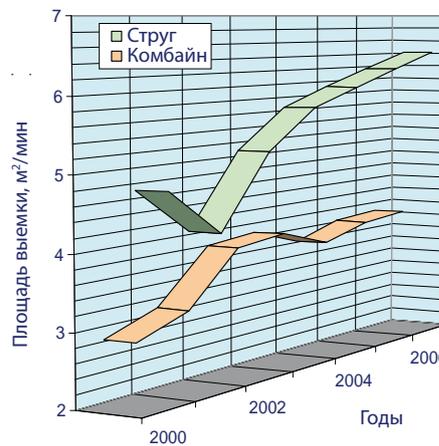


Рис. 7. Средняя площадь выемки в лавах шахт Германии (источник DSK AG)

Такая тенденция наблюдается в последние годы [42]. На рис. 7 показана динамика показателя «площадь выемки» для комбайновых и струговых лав на шахтах Рурского бассейна Германии за последние 10 лет.

4.4. Скорость подвигания забоя

Сравнение суточного подвигания в длинных очистных забоях на шахтах Германии свидетельствует в пользу струговых забоев. В струговых лавах среднесуточная скорость подвигания на 20 – 40 % выше.

На рис. 8 приведена диаграмма, отражающая динамику средней скорости подвигания лавы в немецкой каменноугольной промышленности в период 2000 – 2006 гг.

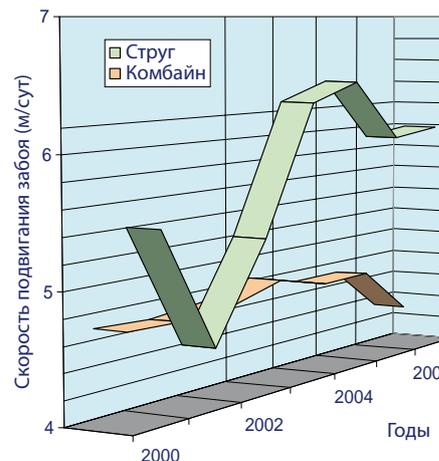


Рис. 8. Среднесуточное подвигание очистного фронта комбайновых и струговых лав в Германии (источник DSK AG)

4.5. Транспортировка угля

Объем массы угля, поступающего из забоя на штрековый конвейер, играет жизненно важную роль в тех случаях, когда действующие мощности связанной с лавой транспортной инфраструктуры ограничены. Такая ситуация складывается тогда, когда на одну конвейерную ленту поступает несколько грузопотоков (например, из различных забоев). Погрузка пиковых объемов материала на конвейер может привести к его перегрузке. Такой тип ограничения часто встречался в прошлом в угольной промышленности Германии.

Грузопоток, идущий из забоя, в значительной степени зависит от способа выемки, выбранного для данной лавы. Для комбайновых лав характерен, как правило, неравномерный поток угля. При движении от главного к вспомогательному штреку комбайн грузит на забойный скребковый конвейер тонкий слой угля. Причинами этого являются значительная разница в скорости движения комбайна и скребкового конвейера, а также ограниченность пространства под корпусом комбайна (небольшой клиренс). И, наоборот, при перемещении от вспомогательного к главному штреку слой угля на конвейере соответственно больше. В случае односторонней выемки период интенсивной загрузки конвейера сменяется периодом практически полного отсутствия угля на конвейере.

Что касается струговых забоев, то здесь грузопоток также зависит от способа выемки. В случае комбинированного способа постоянный объем потока угля легко обеспечивается за счет выбора глубины захвата при движении струговой установки в обоих направлениях. При использовании способа с опережением постоянства объема наваливаемого на конвейер угля можно добиться, если струговая установка перемещается от одного привода к другому с постоянной глубиной захвата, а скорость струговой установки в три раза превышает скорость движения забойного конвейера. В варианте выемки отдельных участков поток отгружаемого из забоя угля всегда непостоянный.

5. Технические аспекты

Технические аспекты обеих рассматриваемых технологий выемки угля в длинных очистных забоях охватывают условия их применимости в таких забоях и основные технические характеристики.

5.1. Технические условия применимости

Техническая пригодность – важный фактор при выборе технологии выемки. В рамках этой категории рассматривается ряд соответствующих геологических (включая

тектонические и стратиграфические), а также эксплуатационных факторов.

Факторы, перечисленные на рис. 9, детально рассмотрены в разделах, приведенных ниже.

5.1.1. Мощность пласта

Очистные комбайны применяются, как правило, на пластах мощностью от 1,5 до 6,0 м. В прошлом были многочисленные попытки эффективного использования комбайнов на пластах мощностью менее 1,5 м. Большая часть таких попыток окончилась неудачно, как с технической, так и экономической точки зрения. Относительно низкая установленная мощность, сложность манипулирования в тесном пространстве и низкое качество погрузки отбитой горной массы – вот основные причины. Во многих случаях комбайн ведет выемку на высоту, превышающую мощность пласта, захватывая породы кровли/или почвы, в результате чего увеличивается содержание породы в угле и повышаются издержки производства. При работе на пластах с изменяющейся мощностью легко осуществляется регулировка высоты выемки очистного комбайна.

Струговые установки применяются для работы на пластах мощностью от 0,6 до 2,3 м, хотя в Германии струговые установки используются и на пластах мощностью до 3 м. На пластах мощностью менее 1,0 м применяются струги с опорной подконвейерной плитой, а на пластах мощностью более 1,0 м – струги скользящего типа. Несмотря на небольшую собственную высоту, струговые установки обеспечивают выемку угля точно по гипсометрии пласта без необходимости присечки прилегающих пород. Пласты с изменяющейся мощностью не представляют каких-либо проблем для струговых установок, если в кровле пласта залегают породный прослой или верхний слой угля можно обрушить при помощи перекрытия крепи. Высоту корпуса струга также легко при необходимости отрегулировать в зависимости от мощности пласта.

5.1.2. Крепость угля

Очистные комбайны могут осуществлять отбойку как мягкого, так и крепкого угля. С увеличением крепости угля возрастает удельная энергия выемки (т.е. количество энергии, необходимой для выемки и погрузки 1 м³ угля), что снижает производительность комбайна.

Струговые установки в прошлом наиболее часто использовались для отработки пластов мягкого угля. Это объяснялось низкой установленной мощностью машины и трудностями использования этой энергии. За последние десять

Рис. 9. Важные факторы, определяющие техническую пригодность очистных комбайнов и струговых установок

Фактор		Очистной комбайн	Струговая установка
1. Мощность пласта		от 1,5 до 6,0 м	от 0,6 до 2,3 м
2. Крепость угля			
		Обе технологии выемки угля сопоставимы ¹	
3. Наибольший уклон		до 20°	до 45°
лавы			
панели		по восстанию до 20°; по падению до 20°	по восстанию до 45°; по падению до 20°
4. Выемка в зонах геологических нарушений			
Обе технологии выемки угля сопоставимы ¹			
5. Волнистое залегание			
Управление струговой установкой в горизонтальной плоскости значительно легче, чем комбайном			
6. Непосредственная кровля		Работа в условиях неустойчивой кровли приводит к вывалу породы	За счет небольшой глубины захвата обеспечиваются безопасные условия работы при наличии неустойчивой кровли
7. Непосредственная почва		Применимость обеих технологий сопоставима (секции щитовой крепи комбайновой лавы оснащены подъемником основания, крепь струговой лавы имеет специальный механизм для обеспечения так называемого «слонового шага» при работе по слабой почве)	
8. Крупность рядового угля		Комбайн измельчает уголь до мелких фракций	Струг отделяет крупные куски угля
9. Размеры поперечного сечения штрека		Концевой привод находится в самой лаве	Для струговой установки всегда требуется наличие широкого концевого участка ²
10. Автоматизация		Комбайновая выемка пока не полностью автоматизирована	Струговые комплексы Viscurus полностью автоматизированы и используются во всем мире

¹ При использовании стругового комплекса GH42 с двигателем установленной мощностью 1,6 МВт

² Не применимо для стругового комплекса с одним приводом, размещенным на главном штреке

лет ситуация резко изменилась, что обусловлено следующими причинами.

- Внедрение надежной микропроцессорной техники стало выдающимся техническим достижением в области струговой выемки. Благодаря системе «incremental plowing» (буквально, дозированная струговая выемка) струг может выдерживать строго определенную глубину резания, избегая при этом часто происходившего в прошлом блокирования струга.
- Благодаря внедрению высокоэффективных систем защиты от перегрузки удалось значительно сократить число обрывов цепей.
- Мощность двигателей струговых комплексов постоянно возрастает. В настоящее время установленная мощность режущего органа струга составляет до 1,6 МВт.
- Струги, оснащенные двигателями с частотнорегулируемым приводом (ЧРП), обеспечивающим постоянное регулирование скорости, совместно с забойными скребковыми конвейерами, оснащенными двигателями аналогичного типа, позволяют оптимизировать работу стругового очистного забоя.

Приведенные выше данные позволяют утверждать, что современные струговые системы способны обеспечивать отработку угля такой же крепости, как очистные комбайны.

5.1.3. Наклонное залегание пласта

Комбайны способны работать в лавах с продольным и поперечным наклоном почвы до 20°. Только комбайны специальной конструкции способны работать на пластах с большим уклоном в продольном направлении.

Струги могут работать в лавах с продольным наклоном почвы до 45° и с поперечным наклоном до 45° в лавах,двигающихся вверх по падению, и до 20° в забоях,двигающихся вниз по падению. Ранее струги эксплуатировались в лавах с продольным наклоном почвы до 60°.

5.1.4. Выемка в зонах геологических нарушений

Очистные комбайны могут работать по крепким породам при пониженной скорости. Однако в этом случае неизбежно возрастают удельная энергия выемки, а также выход угля мелких фракций и пыли.

Струги в прошлом испытывали трудности при преодолении геологических нарушений. Это объясняется отсутствием в то время систем управления глубиной резания и ограниченными возможностями управления скоростью выемки. Можно было снизить скорость струга только либо на 50 %, либо на 33 %. Предварительная установка меньшей глубины резания была практически невозможной.

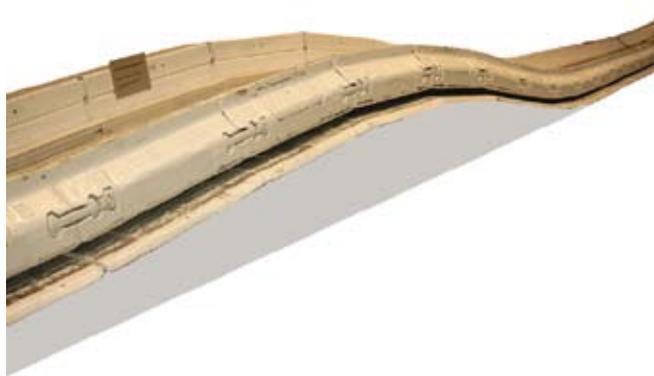
Современные струговые комплексы с дозированной глубиной резания и частотнорегулируемыми приводами обладают значительно более высокой мощностью, способны точно выдерживать (уменьшать) как глубину захвата, так и скорость движения струга в требуемых пределах. Поэтому современные струги могут преодолевать геологические нарушения столь же эффективно, как и очистные комбайны. Например, на шахте «Иббенбюрен» в Германии струговой комплекс ведет выемку угля прочностью на сжатие 60 МПа на полную мощность пласта, пересекая при этом ступенчатый сброс мощной вертикальной ступенью [1].

5.1.5. Волнистое залегание пласта

Очистные комбайны имеют корпус большей длины, чем струги, и решетчатый став забойного конвейера может изгибаться в вертикальной плоскости до ±3°. Поэтому применение комбайнов обуславливает трудности при изменении гипсометрии пласта.

Корпус струга короче, а направляющие струга соединены с решетками забойного конвейера, за счет чего изгиб в вертикальной плоскости может составлять до ±6°. Таким образом, струги способны более эффективно следовать гипсометрии пласта (рис. 10), чем очистные комбайны [32].

Рис. 10. Седловидное залегание пласта, преодолеваемое стругом



5.1.6. Непосредственная кровля

Комбайн прекрасно работает, если кровля достаточно устойчива, чтобы оставлять незакрепленную зону, шириной равной ширине захвата комбайна.

Струг лучше приспособлен к управлению кровлей, если в кровле пласта залегают рыхлые породы, так как ширина незакрепленной зоны, а соответственно и шаг передвижки крепи меньше, чем у комбайна [32].

5.1.7. Непосредственная почва

Комбайновая лава обеспечивает более высокую производительность в условиях устойчивой почвы. Если породы почвы слабые, особое внимание в процессе выемочных работ следует уделять контролю горизонта выемки. Что касается крепи, то проблемы, связанные с наличием неустойчивой почвы, можно решить за счет использования на стойках крепи механизма подъема основания.

Струги при устойчивой почве перемещаются плавно, но в условиях неустойчивой почвы требуется особый контроль горизонта выемки. Эта проблема технически решается при использовании системы управления горизонтом выемки, а также при условии работы специально обученной бригады шахтеров, обладающих необходимым опытом. Современные секции забойной крепи в струговых лавах оснащаются специальным механизмом «слоновьего шага» (т.е. обладающие возможностью подъема одного из оснований) для эксплуатации в условиях слабой почвы.

5.1.8. Крупность рядового угля

Комбайн в процессе выемки отбивает и измельчает уголь и прилегающие породы, что полностью соответствует принципам комбайновой выемки угля. Таким образом, по сравнению со струговой выемкой уголь измельчается до мелких фракций [20].

Струг отделяет относительно широкую полосу угля при небольшой скорости движения, при этом достигается отделение более крупных кусков угля [32], что способствует на следующих этапах снижению расходов на переработку.

5.1.9. Размеры поперечного сечения штрека

Комбайнам и стругам аналогичной производительности требуется наличие выемочных штреков одинакового поперечного сечения. Обычно минимальная ширина штрека составляет 4 – 5 м, а минимальная высота – 2 м.

Струговые лавы, как правило, оснащаются одним хвостовым приводом для забойного конвейера и струга, который размещается во вспомогательном штреке. Таким образом, размеры поперечного сечения штрека определяются размерами приводов. Однако совершенствование технологии направлено на использование только одного мощного привода, размещаемого в главном штреке.

5.1.10. Автоматизация

Комбайны в последние годы оснащаются системой автоматизации, носящей название «memory cut»,

которая устанавливает положение поворотных редукторов в соответствии с условиями выемки в данной конкретной лаве. Тем не менее, даже самые современные очистные комбайны требуют постоянного присутствия оператора в забое. Это ограничивает скорость подачи, так как оператор вынужден идти вслед за комбайном. Ожидается, что и в будущем необходимость в присутствии оператора в забое сохранится, даже при условии дальнейшего технического развития.

Струговые установки в настоящее время могут эксплуатироваться полностью в автоматизированном режиме. На некоторых шахтах горнякам даже запрещено находиться в забое во время работы струга; поэтому управление стругом осуществляется с поверхности без помощи оператора в лаве. На многих шахтах мира струговые лавы работают в автоматизированном режиме.

5.2. Техническая производительность

Техническая производительность комбайнов и стругов, эксплуатирующихся в специфических подземных условиях, зависит в основном от следующих факторов:

- крепости угля;
- установленной мощности двигателей;
- скорости подачи;
- высоты забоя;
- глубины захвата.

Крепость угля для комбайновой выемки определяется иначе, чем для струговой. Наиболее часто используемым показателем крепости угля в условиях комбайновой выемки является прочность на одноосное сжатие (UCS). В литературе [32] можно найти следующую шкалу:

- мягкий уголь – $UCS < 10$ МПа;
- уголь средней крепости – 10 МПа $< UCS < 20$ МПа;
- крепкий уголь – $UCS > 20$ МПа.

Для описания крепости угля в условиях струговой выемки наиболее известная шкала была разработана Немецким научно-исследовательским центром ДМТ ГмбХ. Так называемое «сопротивление угля резанию стругом» (prowability) характеризует среднее усилие резания F_s одного реза струга, выраженное в кН. Это усилие резания определяется в процессе натурных измерений при помощи специального прибора [24], [28]. В соответствии с этим показателем существуют следующие категории сопротивляемости выемке стругом угольных пластов:

- низкое сопротивление – $F_s < 1,5$ кН;
- обычное сопротивление – $1,5$ кН $< F_s < 2,0$ кН;
- высокое сопротивление – $2,0$ кН $< F_s < 2,5$ кН;
- очень высокое сопротивление – $2,5$ кН $< F_s$.

Взаимосвязь между этими двумя показателями очень слабая, так как при выемке в продольном направлении механические свойства угля лишь отчасти определяют величину усилия резания. Показатель среднего сопротивления угля резанию учитывает наличие слоистости и прослоек, которые присутствуют во всех гумусовых углях, а также влияние горного давления.

В течение последних десятилетий установленная мощность двигателей, как очистных комбайнов, так и стругов, постоянно увеличивалась, хотя в 1990-х гг. наиболее быстрый рост наблюдался в развитии комбайновой технологии. В 2002 г. разработка новой мощной (1,6 МВт) струговой системы GH 42 вывела струговую технологию на передовые рубежи. Сегодня очистные комбайны с корпусом высотой от 1,5 до 2,0 м, как правило, имеют общую установленную мощность двигателей до 1,2 МВт.

Скорость подачи современных очистных комбайнов по уголю составляет до 40 м/мин (0,7 м/с). Скорость движения стругов в настоящее время колеблется от 2 до 3,6 м/с.

Спорным на сегодня остается вопрос о том, какая из технологий наиболее эффективна для применения на пластах мощностью от 1,5 до 2,3 м. На пластах мощностью менее 1,5 м единственным эффективным решением для длинных очистных забоев является струговая выемка. При этом на

пластах мощностью более 2,3 м в настоящее время применяются исключительно очистные комбайны.

Ширина захвата очистного комбайна составляет от 0,8 до 1,2 м. Толщина стружки струга зависит от крепости угля, установленной мощности двигателей, скорости подачи и мощности пласта и составляет от 5 до 25 см.

Все пять рассмотренных выше факторов определяют производительность комбайна или струга, которая соответствует количеству энергии, необходимой для выемки и погрузки единицы объема или массы угля. Эта энергия носит название удельной энергии выемки и выражается в МДж/м³ (рис. 11).

Удельная энергия комбайна изменяется в диапазоне от 0,7 до 10 МДж/м³, хотя во многих случаях она не превышает 5 МДж/м³ [10], [26], [32],[45]. Удельная энергия струговых систем колеблется от 1,0 до 10 МДж/м³, однако, в большинстве струговых лав она также не превышает 5 МДж/м³.

При выемке мягкого угля удельная энергия выемки для обеих технологий находится в районе нижних границ приведенных выше диапазонов. Таким образом, учитывая величины удельной энергии для обеих технологий, можно сказать, что этот параметр для обеих систем сопоставим. Объясняется это следующим.

- Процесс выемки угля – струг вынимает более широкую полосу угля с меньшей скоростью резания. Следовательно, выемка угля стругом осуществляется более эффективно, обеспечивая при этом скалывание более крупных кусков угля. И наоборот, комбайн размалывает уголь, вынимая менее широкую полосу угля при более высокой скорости вращения резов, что требует более высокого расхода энергии.
- Эффективность передачи энергии – доля энергии, идущей на резание и погрузку в общем объеме подведенной электроэнергии, выше в случае комбайновой выемки, в то время как при работе струга часть энергии потребляется на преобразование энергии вращения в продольное ускорение и перемещение цепи и корпуса струга.

Вывод: более низкая по сравнению со стругом эффективность резания комбайна компенсируется более эффективной передачей энергии. Это означает, что в сопоставимых условиях для выемки единицы объема угля комбайну и стругу требуется аналогичная удельная энергия.

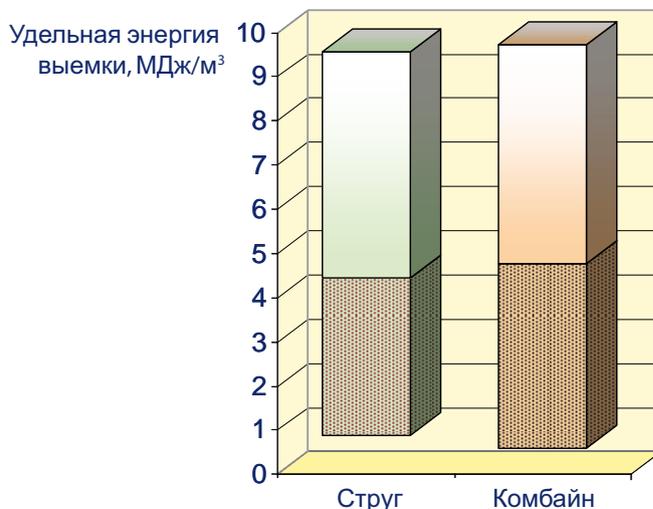


Рис. 11. Удельная энергия выемки комбайном и стругом

На диаграмме рис. 12 показана теоретическая производительность комбайна при работе на угольном пласте средней мощности. Суточный объем товарного угля представлен как функция удельной энергии и времени работы комбайна в течение суток. Вычисления выполнены на основе алгоритма, разработанного Рейнско-Вестфальским высшим техническим училищем RWTH [26], с учетом следующих предположений:

- длина лавы 300 м;
- мощность пласта (равная высоте забоя) 1,8 м;
- плотность угля 1,5 т/м³;
- мощность режущей части комбайна 2 × 500 кВт;
- коэффициент технической эффективности 85 %;
- диаметр шнека 1,4 м;
- способ выемки на половину полосы угля с глубиной захвата 0,4 м;
- скорость подачи комбайна в соответствии с удельной энергией [26];
- PUD 60 %.

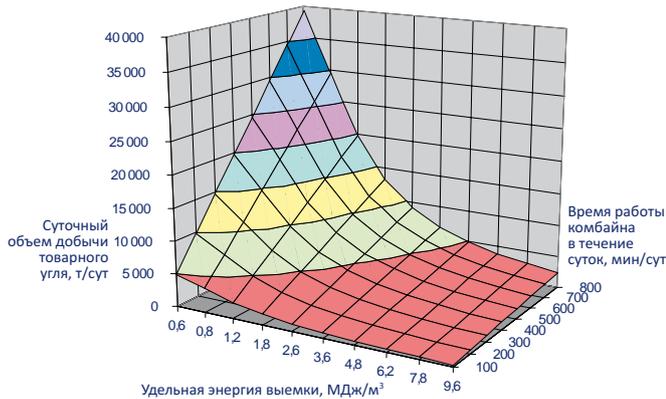


Рис. 12. Производительность комбайновой лавы в зависимости от величины удельной энергии и времени работы комбайна

Параметры комбайна выбраны с таким расчетом, чтобы они соответствовали высоте забоя 1,8 м. При такой высоте забоя оптимальными являются диаметр шнека 1,4 м и установленная мощность режущей части комбайна по 500 кВт на каждый редуктор.

На рис. 13 показана теоретическая производительность струговой системы при работе на пласте средней мощности. Суточный объем добычи товарного угля представлен как функция способности пласта поддаваться резанию и времени работы струга в течение суток. Расчеты выполнены на базе алгоритма компании ДМТ [25], [28], с учетом следующих допущений:

- длина лавы 300 м;
- мощность пласта (равная высоте забоя) 1,8 м;
- плотность угля 1,5 т/м³;
- установленная мощность двигателей струга 2 × 800 кВт;
- технический КПД привода 80 %;
- скорость движения струга 3 м/с;
- выемка двусторонняя с опережением;
- толщина стружки в соответствии с крепостью угля [25];
- PUD 75 %.

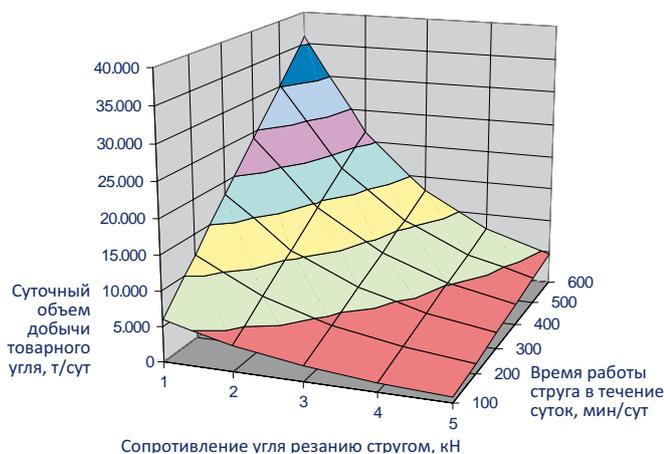


Рис. 13. Производительность струговой лавы в зависимости от величины удельной энергии и времени работы струга

Оба расчета выполнены на базе эмпирически построенного алгоритма, с учетом реальных данных, проверенных в полевых условиях. Заявленный коэффициент машинного времени выше среднего значения и отличается для высокопроизводительных комбайновых и струговых лав. В обоих случаях рассматривалась выемка угля на полную высоту забоя.

Сравнение обеих диаграмм показывает более высокую производительность струговой выемки при одинаковых высоте забоя и времени работы машины. Этот факт можно объяснить более высокой удельной мощностью струговой системы, которая способна полностью использовать свою установленную мощность.

На рис. 14 показано изменение удельной установленной мощности для стругов и комбайнов, работающих на пластах малой и средней мощности, в зависимости от высоты забоя. Термин «удельный» означает, что установленная мощность комбайна или струга рассчитывается на единицу высоты лавы.

$$\bar{P}_s = \frac{\sum P_{inst}}{h_L}, \quad (4)$$

где:

$\sum P_{inst}$ – суммарная установленная мощность двигателей комбайна или струга (кВт),

h_L – высота длинного очистного забоя (м).

На диаграмме рис. 14 показаны кривые удельной установленной мощности комбайна и струга как функции высоты лавы. Представленные кривые рассчитаны в соответствии с формулой (4) для следующих машин:

- комбайны мощностью 600, 1 000, 1 200, 1 500 и 1 800 кВт;
- струговые комплексы мощностью 800 и 1 600 кВт.

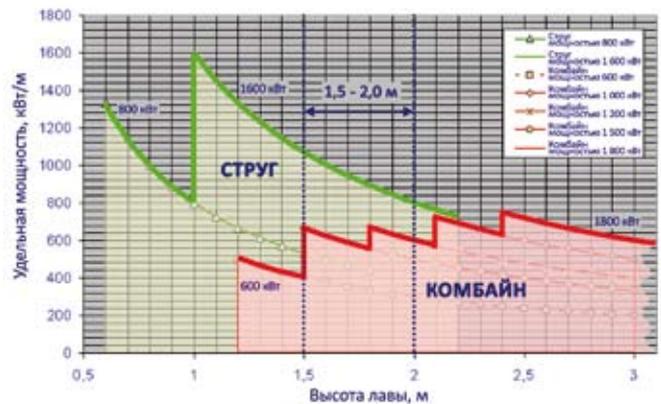


Рис. 14. Удельная мощность комбайна или струга в зависимости от высоты лавы

На диаграмме четко видно, что в диапазоне высот от 1,5 до 2,2 м струг мощностью 1 600 кВт обладает более высокой удельной энергией, чем комбайн. В диапазоне 2,2 – 2,3 м на первое место выходит комбайн.

Вывод: сегодня высокопроизводительная выемка угля на пластах малой и средней мощности – это прерогатива струговой технологии. Однако у некоторых людей сложилось неверное представление относительно струговой технологии, которое базируется на неправильной интерпретации или устаревшей информации [6].

5.3. Шахтный метан

Комбайн работает при относительно небольшой скорости подачи и обеспечивает большую глубину захвата, поэтому при транспортировке измельченного угля из лавы в поперечном сечении забоя оказываются сконцентрированы гораздо большие объемы угля, чем при работе струга. Кроме того, как указывалось раньше, комбайн измельчает уголь более энергично, в результате чего за короткое время высвобождается больший объем метана на единицу отбитого угля. Поэтому более вероятно, что в комбайновой

лаве уровень концентрации CH_4 будет выше, чем в струговой лаве. К сожалению, нет известных (по крайней мере, автору) публикаций, касающихся проведения практических сравнительных проверок этого предположения, поэтому количественное рассмотрение или сравнение эмиссии CH_4 в комбайновых и струговых лавах может быть только чисто теоретическим.

5.4. Угольная пыль

При работе комбайна образуется большое количество угольной пыли, которая концентрируется в относительно небольшом пространстве [20]. Это объясняется в основном теми же причинами, которые были описаны в разделе 5.3. При отбойке угля шнеком комбайна он измельчается с образованием пыли, которая выбрасывается в окружающую атмосферу. Количество и качество пыли зависит от типа вынимаемого угля, а также от таких технических характеристик комбайна, как диаметр шнека, тип, число и расположение зубков, скорость вращения шнека и скорость подачи комбайна [45]. Для подавления пыли и предотвращения ее попадания в окружающую атмосферу используются сложные системы орошения забоя. В большинстве случаев форсунки располагаются непосредственно на шнеках. Штанги водяного орошения, крепящиеся к корпусу комбайна, также часто используются для пылеподавления.

По сравнению с комбайном при работе струга скалываются более крупные куски угля, и образуется меньше пыли. При увеличении толщины стружки увеличивается выход крупнокускового угля и уменьшается пылевыведение. Пыль, образующаяся при работе струга, более равномерно распределяется в воздухе вдоль линии забоя [34], [45].

Когда струг ведет выемку угля, двигаясь вдоль забоя, корпус струга всегда толкает перед собой массу отбитого угля. В этом варианте резцы струга, расположенные на его корпусе, всегда осуществляют отбойку угля по границе «порода-уголь», за счет чего снижается распространение пыли [24]. В струговых лавах системы орошения обычно располагаются под перекрытиями щитовой крепи и иногда на боковинах забойного конвейера. Система управления струговой установкой активизирует форсунки за несколько секунд до подхода струга и отключает их через несколько секунд после его прохода.

6. Экономические факторы

Экономические факторы имеют столь же важное значение, как и технические и эксплуатационные, рассмотренные в предыдущих разделах. Любое сравнение различных методов, технологий или процессов должно содержать и финансовый анализ. В прошлом многие страны субсидировали добычу угля; следовательно, экономические аспекты имели не столь большое значение, как сейчас. В настоящее время такую ситуацию уже невозможно себе представить, так как издержки производства играют самую важную роль. Сравнение добычи угля в длинных очистных забоях с использованием комбайнов и стругов можно считать полным и законченным только в том случае, если учтены и проанализированы все издержки.

6.1. Капитальные затраты

Система разработки длинными очистными забоями, без сомнения, более эффективный, но и более затратный способ, чем камерно-столбовая система. Забойное оборудование состоит из выемочной машины, т.е. комбайна или струга, скребкового забойного конвейера и крепи.

6.1.1. Механизированная крепь

Наиболее дорогой составляющей комплекта оборудования для длинных очистных забоев является крепь, которая состоит из группы секций щитовой крепи. Стоимость секции щитовой крепи составляет десятки тысяч евро. Общая стоимость механизированной крепи прямо пропорциональна

длине лавы. Чем длиннее лава, тем большее количество секций крепи следует использовать. В целом, между механизированной крепью в комбайновой и струговой лаве существуют лишь незначительные отличия. Наиболее важные различия включают следующее:

- секция механизированной крепи в комбайновой лаве оснащена жестким основанием, крепь струговой лавы имеет разъемное основание;
 - крепь комбайновой лавы оборудована цилиндрами подъема основания, крепь струговой лавы – нет;
 - крепь комбайновой лавы имеет более длинное перекрытие (примерно на 20 – 30 % длиннее);
 - перекрытия крепи в комбайновой лаве оборудованы фронтальными консолями, в струговой лаве – нет;
 - механизированная крепь в струговой лаве (даже в условиях полной автоматизации) может эксплуатироваться с приборами управления, установленными на каждой третьей секции крепи. Управление соседними секциями крепи осуществляется при помощи блока управления, размещенного на средней секции.
- Следует отметить, что секции щитовой крепи для комбайновых лав немного дороже, чем для струговых лав при работе в сопоставимых геологических условиях.

6.1.2. Выемочная машина

Стоимость выемочной машины, эксплуатирующейся в длинном очистном забое, например, комбайна или струга, существенно ниже, чем механизированной крепи. Стоимость выемочной машины составляет примерно 10 – 20 % от стоимости механизированной крепи.

Современный очистной комбайн представляет собой высокосовершенную систему. Помимо огромного количества стальных деталей, конструкция комбайна включает множество механических, гидравлических, электрических и сложных электронных систем. Стоимость комбайна практически не зависит от длины лавы.

Стоимость струговой установки в значительной степени зависит от длины лавы. Струговая система состоит из:

- корпуса струга;
- направляющих струга, соединенных (сваренных) с решетками забойного конвейера;
- тяговой цепи струга диаметром прутка 38 или 42 мм, равной удвоенной длине лавы;
- двух приводов, состоящих из блока струга (plow box), редуктора и двигателя.

Раньше в струговых установках использовались асинхронные двигатели с переключением полюсов. Этот тип двигателя обеспечивал только две скорости подачи – низкую и высокую, последняя превышала низкую в 2 или 3 раза. В начале этого десятилетия в струговых установках чаще стали использовать двигатели с частотным регулированием. Двигатели этого типа позволяют выполнять плавное регулирование скорости, но они значительно дороже, чем асинхронные двигатели.

Как правило, стоимость очистного комбайна практически такая же, как и стоимость струговой системы для сопоставимых условий эксплуатации, хотя стоимость наиболее эффективных струговых систем несколько выше.

6.1.3. Забойный конвейер

Стоимость забойного конвейера сильно зависит от длины и высоты лавы. Чем длиннее лава, тем больше требуется решеток, длиннее цепь и, соответственно, большая мощность. Увеличение мощности означает использование более крупных приводов, а значит – более крупных энергоблоков. Чем больше высота забоя, тем шире должны быть решетки, чтобы соответствовать объему вынимаемого угля.

Забойные конвейеры для комбайновых и струговых лав совершенно непохожи. Приводная рама струговой установки имеет более сложную конструкцию, так как приводы струга крепятся к раме на противоположной стороне, чем

у забойного конвейера комбайновой лавы. Рештаки забойных конвейеров обеих систем аналогичны, однако, боковины рештаков имеют некоторые различия. Дополнительными элементами конвейера в комбайновой лаве являются детали тяговой системы, т.е. рейки. В конвейере струговой лавы предусмотрены цилиндры управления горизонтом выемки (так называемый выносной механизм управления). Эти домкраты обычно размещаются на каждом втором рештаке в лаве, иногда и на каждом рештаке.

Стоимость забойного конвейера для комбайновой лавы несколько выше, чем для струговой лавы.

6.1.4. Вспомогательное забойное оборудование

Для работы основного очистного оборудования в комбайновой и струговой лаве требуется наличие такого вспомогательного оборудования, как трансформаторы, коммутационные устройства, приборы управления и связи, насосы и т.д. Большая часть этого вспомогательного оборудования аналогична для комбайновых и струговых лав. Различия касаются только непосредственно выемочных машин. Для струговой установки необходим дополнительный переключатель подачи питания на приводы, а комбайн, как правило, имеет свой собственный встроенный переключатель.

6.1.5. Общая стоимость комплекта забойного оборудования

В таблице на рис. 15 приведено качественное сравнение капитальных затрат на оснащение сопоставимых комбайновой и струговой лавы. Забойное оборудование подразделяется на:

- выемочную машину, т.е. комбайн или струг. Комбайн представляет собой целостную конструкцию, а струговая система имеет секционную структуру, в которой направляющие струга присоединены к забойному конвейеру, оснащенный скребковой цепью и двумя (или одним) приводами, размещенными на концевых участках лавы и закрепленными на рамах;
- забойные конвейеры для обеих выемочных технологий примерно одинаковы;
- электро- и гидрооборудование несколько отличается;
- различия в конструкции секций щитовой крепи для комбайновых и струговых лав описаны в разделе 6.1.1.

Составляющие комплекта забойного оборудования	Комбайновая лава	Струговая лава
1. Выемочная машина	менее дорогая	более дорогая
2. Забойный скребковый конвейер	более дорогой	менее дорогой
3. Электро- и гидрооборудование	менее дорогое	более дорогое
4. Щитовая крепь	более дорогая	менее дорогая
Итого:	сопоставимы	

Рис. 15. Сравнение основных капитальных затрат на оснащение комбайновой и струговой лавы

Сравнение основных элементов очистного комплекса для длинного забоя, представленное в таблице на рис. 15, свидетельствует о сопоставимости капитальных затрат на оборудование для комбайновой и струговой лавы.

6.2. Срок службы оборудования

Современные очистные комбайны чрезвычайно сложные машины. Комбайн состоит из рамы и в большинстве случаев двух поворотных редукторов со шнеками. Конструкция комбайна предусматривает размещение на нем встроенных двигателей, редукторов и насосов, а также электрического, гидравлического оборудования и приборов управления. В итоге современный очистной комбайн представляет собой гибрид различных технологий. Эта сверхсложная машина в процессе выемки угля постоянно подвергается

воздействию таких разрушающих факторов, как вибрация, механическая нагрузка, колебания температуры, сырость, агрессивная вода, пыль и т.д. Несмотря на то, что комбайн имеет прочную конструкцию, такие рабочие условия неизбежно приводят к частым поломкам и соответственно к необходимости проведения технического обслуживания и капитального ремонта. В конструкции комбайна использовано множество изнашиваемых частей, в том числе резцы, шнеки, захватывающие башмаки и т.д. В целом, вследствие интенсивного износа и частой замены узлов и деталей, ресурс очистного комбайна составляет примерно от 10 до 20 млн т угля.

Что касается струга, то ситуация здесь совершенно иная. Струг в процессе перемещения вдоль забоя режет и грузит уголь. Корпус струга состоит «исключительно» из стальных деталей. В нем нет вращающихся частей, например, двигателей, редукторов, насосов, которые часто выходят из строя. Хотя по своей конструкции струг представляет собой сложный объект, он подобно стальному монолиту противостоит воздействию механических усилий и других разрушающих факторов. Несмотря на то, что струг движется со скоростью, в несколько раз превышающей скорость подачи комбайна, и подвергается воздействию более значительных сил, за счет прочности конструкции корпуса струга обеспечивается меньшая восприимчивость к этим воздействиям, чем комбайна. Изнашиваемые части струга – резцы, поверхности скольжения корпуса струга, тяговая цепь и зубчатые колеса – требуют периодической замены, а направляющие струга и корпус струга – сварочных работ в процессе капитального ремонта. Ресурс струговой установки в зависимости от условий эксплуатации может достигать 35 млн т.

Оборудование длинного очистного забоя требует проведения технического обслуживания. Следует планировать и предусматривать в бюджете периодическое проведение текущего и капитального ремонта. Периодичность текущего и капитального ремонта, а также связанные с этим затраты определяются на базе предшествующего опыта. Тем не менее, планируя начало очистных работ в новой лаве, следует предусматривать и финансирование ремонтных работ. Ниже приведены данные относительно средних расходов на ремонт и периодичности капитального ремонта, полученные авторами в производственных условиях.

Комбайн. Затраты на текущий ремонт комбайна в течение периода отработки выемочной панели составляют от 10 до 30 % его оригинальной закупочной цены. Примерно такие расходы следует планировать и на капитальный ремонт комбайна. Как правило, капитальный ремонт комбайна проводится после завершения отработки выемочной панели. В среднем за срок службы комбайна выполняется 4 – 8 капитальных ремонтов.

Струговая установка. Струговая установка, эксплуатирующаяся в сходных условиях, требует проведения капитальных ремонтов с той же периодичностью, что и для комбайна, хотя средние расходы на капитальный ремонт струга несколько меньше. Таким образом, общее количество капитальных ремонтов в течение срока службы струга такое же, как и для комбайна.

6.3. Эксплуатационные расходы

Все расходы, связанные с добычными работами, складываются вместе и учитываются в рамках показателя «эксплуатационные расходы». В состав эксплуатационных расходов входят следующие элементы:

- затраты на заработную плату персонала;
- затраты на материалы;
- стоимость запасных частей;
- стоимость энергии;
- амортизационные расходы, уменьшение стоимости реального основного капитала в результате истощения природных ресурсов; амортизационное списание;

- издержки на страхование;
- текущие арендные платежи.

Для сравнения комбайнов и стругов необходимо сопоставить и эксплуатационные расходы. Для того чтобы такое сравнение было максимально объективным, следует привести обе технологии к сопоставимым условиям эксплуатации. В случае неодинаковых условий эксплуатации необходимо взять адекватный пример для получения правильного результата.

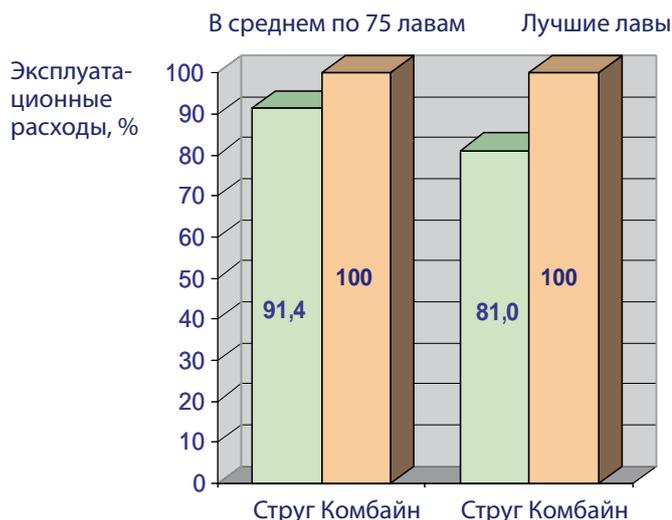


Рис. 16. Сравнение эксплуатационных расходов для комбайновых и струговых лав Германии

Всесторонний анализ производственных издержек помимо других факторов был выполнен в Германии, где эксплуатируется много комбайновых и струговых лав. В ходе проведенного на протяжении четырех лет масштабного исследования было проанализировано 75 длинных очистных забоев. В 18 очистных забоях выемка осуществлялась комбайнами, в остальных 57 – струговыми установками [9], [37]. На рис. 16 приведены результаты этого анализа.

Оказалось, что эксплуатация комбайна обходится в среднем на 8,6 % дороже, чем эксплуатация струга. Сравнение наиболее производительных длинных очистных забоев дало еще более интересные результаты: в этой группе выемка в струговой лаве почти на 20 % дешевле, чем в комбайновой лаве.

6.4. Себестоимость угля

И, наконец, еще один наиболее важный экономический фактор – это показатель стоимости тонны товарной продукции, который показывает, насколько эффективной была работа шахты или угольной компании в течение определенного периода времени. Показатель себестоимости производства 1 т продукции включает в себя все ранее упомянутые факторы, которые в какой-то мере взаимосвязаны друг с другом. Чем выше уровень технического развития и, соответственно, коэффициент машинного времени, тем ниже будет себестоимость продукции. С другой стороны, чем ниже капитальные и эксплуатационные расходы, тем дешевле производство тонны угля.

Исследование было сосредоточено непосредственно на себестоимости добычи угля только в длинных очистных забоях. В большинстве случаев издержки по шахтам в действительности выше, чем только издержки длинных забоев. Однако эти неучтенные расходы практически несущественные (или не совсем пренебрежимые) в зависимости от типа длинного очистного забоя, поэтому здесь они не учитывались. При окончательных расчетах их, конечно, следует учитывать, поскольку они влияют в итоге на цену угля.

Реальные издержки производства в комбайновой и струговой лаве, эксплуатирующихся в сопоставимых условиях,

получить не просто, однако, при сопоставимых капитальных затратах и более низких эксплуатационных расходах струговая технология является более предпочтительной для длинных очистных забоев.

7. Выводы и заключение

В настоящее время на базе угля в мире вырабатывается 40 % электроэнергии. Говорят, что такая доля угля сохранится и в последующие несколько десятилетий. Мировые запасы угля значительно превышают запасы нефти и природного газа, поэтому уголь будет и в будущем играть важную роль. Большая часть оставшихся запасов угля сосредоточена в пластах малой и средней мощности, т.е. мощностью менее 2 м. Подземная добыча угля длинными очистными забоями на пластах мощностью от 1,5 до 2,3 м осуществляется с использованием комбайнов и струговых установок. В своей работе автор сделал попытку провести всесторонний сравнительный анализ обеих технологий очистных работ в длинных забоях, рассмотрев эту задачу с различных точек зрения.

Для того чтобы сравнить эффективность работы комбайновой и струговой лав на угольных пластах средней мощности, потребовалось проанализировать следующие технические, эксплуатационные и экономические факторы.

- Комбайны характеризуются более эффективной передачей энергии, но более низкой эффективностью выемки, чем струги. Вместе с тем величина удельной энергии, необходимой для выемки единицы массы угля в аналогичных условиях, сопоставима для обоих типов машин.
- В диапазоне мощности пласта от 2,1 до 2,3 м современные струговые системы обладают более высокой удельной мощностью, т.е. установленной мощностью на единицу высоты лавы, чем комбайны.
- Средняя комбайновая лава характеризуется большим коэффициентом использования рабочего времени (TUD), чем струговая лава, однако, если говорить о высокопроизводительных забоях, то TUD для обеих технологий примерно одинаков. В нормальных условиях коэффициент TUD варьируется от 40 до 70 %, а в лучших лавах достигает и 90 %.
- Струги отличаются более высоким коэффициентом машинного времени (PUD), чем комбайны. В лучших струговых лавах коэффициент PUD достигает 95 %, в то время как в лучших комбайновых лавах – только 75 %.
- Издержки производства зависят помимо производительности лавы от капитальных и текущих затрат. В целом можно утверждать, что при отработке пластов мощностью от 1,5 до 2,3 м капитальные затраты для комбайновых лав сопоставимы с капитальными затратами струговых лав, но эксплуатационные расходы по струговым лавам меньше, чем по комбайновым. Следовательно, издержки производства в струговых лавах меньше, чем в комбайновых.

Вывод: Эффективность работы длинного очистного забоя является функцией всех пяти перечисленных выше факторов.

$$\text{Эффективность} = f(A, B, C, D, E)$$

Более низкие капитальные и эксплуатационные затраты, а также более высокие производственные показатели, обеспечивают, как следствие, более низкие суммарные издержки производства.

По итогам рассмотрения высокопроизводительных комбайновых и струговых длинных очистных забоев можно сделать следующие выводы:

- для отработки пластов мощностью менее 1,8 м наилучшим выбором является струговая установка;
- для пластов мощностью от 1,8 до 2,3 м решение о выборе той или иной технологии зависит от конкретных горно-геологических условий;
- при отработке пластов мощностью более 2,3 м предпочтение следует отдавать комбайновой выемке.

Список литературы

- [1] Beimdieck, J.; Stöttner, M.T. – „Schnellentwicklung eines Strebes am Beispiel der Bauhöhe 6/7 Westen, Flöz 65/68“ – Bergbau 1/2008
- [2] Bittner, M.; Weiß, H.-J. – „Einsatz schwerer Hobelanlagen – von der Innovation zum Standard“ – RWTH Aachen 2007
- [3] Brandt, J.; Sdunowski, R. – „Optimierung der Gasabsaugung zur Leistungssteigerung in Abbaubetrieben“ – RWTH Aachen 2007
- [4] Busmann, H. – „Wirtschaftliche Gewinnung dünner Flöze – Vergleich verschiedener Produktionsmethoden und Ansätze zur Steigerung der Produktionskapazität für den Strebbau mit schneidender Gewinnung“ – RWTH Aachen 2001
- [5] Catelin, M. – „Coal - Essential fuel for the 21st century“ – Optima 2007
- [6] Cooper, R. – „Let’s talk longwall“ – Mining Perspectives for Both Worlds, Vol. 12, No. 1
- [7] Daul, J.; Juch D. – „Die Verteilung der Vorräte der Steinkohlelagerstätten an der Ruhr vor dem Abbau und am 1. Januar 1995“ – Glückauf 135-1999
- [8] Deutsche Steinkohle AG – Different documents
- [9] DMT GmbH - „Empfehlung für die Wahl des schälenden oder des schneidenden Gewinnungsverfahrens in Flözen mittlerer Mächtigkeit“ - Betriebsempfehlung für den Steinkohlenbergbau Nr. 34 – Verlag Glückauf
- [10] Dolipski, M.; Jaszczuk, M.; Sobota, P. – „Specific energy in aspect of the correctness of a shearer application“ – Mine Planning and Equipment Selection - Calgary 1998
- [11] Eikhoff, J. – „Entwicklung eines Produktionssystems im deutschen Steinkohlenbergbau“ – RWTH Aachen 2007
- [12] Filipiak, A.; Paschedag, U. – „High-Performance Longwall Mining in Thin Seams“ – RWTH Aachen 2000
- [13] Geisler, J. – „Betriebserfahrungen mit einer Hobelanlage für schwer gewinnbare Flöze auf dem Bergwerk Walsum“ – Glückauf 125
- [14] Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus – „Steinkohlenbergbau in Deutschland“ – Essen 2006
- [15] Irresberger, H.; Gräwe, F.; Migenda, P. – „Schreitausbau für den Steinkohlenbergbau“ – Verlag Glückauf 1994
- [16] Jaszczuk, M. – „Operational productivity of shearer loaders“ - Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa, – KOMAG, Gliwice 2007
- [17] Jaszczuk, M. – „Czynniki techniczno-organizacyjne determinujące wykorzystanie przodka scianowego“ – Maszyny Górnicze, KOMAG, Gliwice, 2004
- [18] Jaszczuk, M.; Kozieł, A.; Sikora, W. – „Etapu rozwoju ścianowych systemów mechanizacyjnych w polskim górnictwie węgla kamiennego“ . – Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa 6/49 2008
- [19] Junker, M. – „Gebirgsbeherrschung von Flözstrecken“ – Verlag Glückauf GmbH·Essen·2006
- [20] Kundel, H. – „Kohlegewinnung“ – Verlag Glückauf 1983
- [21] Lisowski, A. – „Podstawy ekonomicznej efektywności podziemnej eksploatacji złóż“ – PWN Warszawa 2001
- [22] Martin, H.; Paschedag, U. – „Shearers versus plows“ – American Longwall Magazine, August 2006
- [23] Myszkowski, M.; Plum, D. – „Verfahrenstechnische und maschinentechnische Auslegung von Hochleistungs-Streben“ – RWTH Aachen 2000
- [24] Myszkowski, M. – „Erstellung eines Berechnungsmodells zur Auslegung und Optimierung von Hobelanlagen auf der Grundlage von Betriebsdaten und experimentellen Untersuchungen“ – Berlin 2004
- [25] Myszkowski, M. – „Auslegung des optimalen Hobelverfahrens für Hochleistungsbetriebe mit Maximierung der Gewinnungs- und Förderleistung“ – DMT 1996
- [26] Nienhaus, K.; Bayer, A. K.; Haut, H. – „High productivity – A Question of Shearer Loader Cutting Sequences?“ – RWTH Aachen 2000
- [27] Paschedag, U. – „Low Mining“ – World Coal, 2006 Volume 15 Number 12
- [28] Paschedag, U.; Schwolow, G. – „Die DMT-Zerspanbarkeitsmessung als Grundlage zum Bestimmen der Hobelbarkeit von Kohlenflözen“ – Glückauf-Forschungshefte 1992
- [29] Paschedag, U. – „Rekordfördermengen mit Hobelanlagen in den USA“ – Glückauf 1999
- [30] Paschedag, U.; Schwaak, A. – „Steigerung des effektiven Flächenverhiebs durch Langfronthobeln“ – Glückauf 124 (1988)
- [31] Peng, S.; Chiang, H.S., „Longwall Mining“, – First Edition – 1984
- [32] Peng, S. - „Longwall Mining“ – Second Edition – 2006
- [33] Plum, D. – „Die Strebtechnik im deutschen Steinkohlenbergbau“ – Glückauf 1994
- [34] Reuther, E. U. – „Lehrbuch der Bergbaukunde“ – 11 Auflage 1989
- [35] Rutherford, A. – „Half-web benefits remain untapped“ – Australia’s Longwall, 2001
- [36] Rutherford, A. – „Automation and Increasing Output on Australian Longwall Faces“ – RWTH Aachen 2000
- [37] Scheidat, L.; Schwolow, G. – „Schälende oder schneidende Gewinnung in Flözen mittlerer Mächtigkeit“ – Glückauf 128 No. 1
- [38] SPG Media - <http://www.mining-technology.com/projects/twenty-mile>
- [39] Traud, W.; Tafel, T.; Rump, K. – „Betriebserfahrungen beim Einsatz von Walzenladern in Flözen mit geringer Mächtigkeit auf dem Bergwerk Walsum der DSK AG“ – RWTH Aachen 2000
- [40] Turek, M. – „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego“ – Główny Instytut Górnictwa 2008 – praca zbiorowa
- [41] US Department of Energy – „Longwall Mining“ – Washington DC 1995
- [42] Voß, H-W. – „Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Steigerung der Gewinnungsleistung von Gleithobelanlagen unter Berücksichtigung der Massengutinfrastruktur“ – Clausthal-Zellerfeld, 2005
- [43] Voß, H-W.; Junker, M.; Bittner, M. – „Erste Betriebserfahrungen einer neuen Hochleistungs-Hobelanlage in harter Kohle“ – Glückauf 140-2004
- [44] Weisdack, G.V.; Kvitkovich, J.F. – „U.S. Longwall Development Projected to Increase“ – Mining Engineering 2005-2006
- [45] Wolter, N. – „Theoretische und Experimentelle Untersuchungen zur Staubentwicklung am Walzenlader unter Anwendung von Hochdruckwasser“ – Berlin 1992
- [46] World Coal Institute - Different publications – www.worldcoal.org – UK
- [47] Zorychta, A.; Burtan, Z.; Tajduś, A. – „Technologie eksploatacji węgla kamiennego w aspekcie ich innowacyjnego i efektywnego stosowania“ – Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa 6/49 2008



Содержание

Разработка угля длинными очистными забоями – это, в настоящее время, наиболее эффективный способ подземной добычи угля. Значительная часть мировых запасов угля сосредоточена в пластах мощностью от 1,5 до 2,3 м, и эти запасы представлены углем самого высокого качества. Вопрос состоит в том, использование какой из технологий – комбайновой или струговой – является наиболее эффективным. Только всестороннее сравнение обеих технологий очистной выемки угля длинными забоями с учетом соответствующих геологических, технических, эксплуатационных и экономических факторов, позволит найти лучшее решение для каждой конкретной шахты и конкретного месторождения.

1. Значение угля	1
2. Подземная разработка маломощных угольных пластов	1
3. Сравнение струговой и комбайновой технологий	2
4. Эксплуатационные аспекты	2
4.1. Способы отработки угля в длинных забоях	2
4.2. Коэффициенты использования	3
4.2.1. Коэффициент использования рабочего времени	3
4.2.2. Коэффициент машинного времени	3
4.3. Площадь выемки	4
4.4. Скорость подвигания забоя	4
4.5. Транспортировка угля	5
5. Технические аспекты	5
5.1. Технические условия применимости	5
5.1.1. Мощность пласта	5
5.1.2. Крепость угля	5
5.1.3. Наклонное залегание пласта	6
5.1.4. Выемка в зонах геологических нарушений	6
5.1.5. Волнистое залегание пласта	6
5.1.6. Непосредственная кровля	6
5.1.7. Непосредственная почва	6
5.1.8. Крупность рядового угля	6
5.1.9. Размеры поперечного сечения штрека	6
5.1.10. Автоматизация	6
5.2. Техническая производительность	7
5.3. Шахтный метан	8
5.4. Угольная пыль	9
6. Экономические факторы	9
6.1. Капитальные затраты	9
6.1.1. Механизированная крепь	9
6.1.2. Выемочная машина	9
6.1.3. Забойный конвейер	9
6.1.4. Вспомогательное забойное оборудование	10
6.1.5. Общая стоимость комплекта забойного оборудования	10
6.2. Срок службы оборудования	10
6.3. Эксплуатационные расходы	10
6.4. Себестоимость угля	11
7. Выводы и заключение	11
Список литературы	12

