

УДК 622.33

## СХЕМЫ КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ УГЛЯ ПРИ ДОБЫЧЕ И ПОДГОТОВКЕ К ПОСТАВКАМ УДАЛЁННЫМ ПОТРЕБИТЕЛЯМ

**Федоров В.И., Гаврилов В.Л., Хоютанов Е.А.**

*ФГБУН Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск,*

*e-mail: khoiutanov@igds.ysn.ru*

Угольные разрезы центральной и северной зон Якутии, несмотря на их небольшие мощности, имеют важное значение при обеспечении топливом предприятий жилищно-коммунального сектора. Для изучения характера трансформации угольных потоков от георесурса до отгрузки потребителям рассмотрены цепочки добычи и поставки угля, включающие процессы выемки, погрузки, транспортировки, складирования, первичной переработки и сортировки. Представлены существующие технологические схемы разрезов, использующие подвижные и неподвижные элементы и емкости, дозирующие устройства. Объемно-качественные трансформации угля в потоке можно свести к физическим процессам перестановки, аккумуляции, деления, смешивания и классификации. Дополнительно учтены в анализе процессы сегрегации, смерзаемости и разубоживания полезного ископаемого. При переходе угля от статического состояния в запасах или забоях в динамические потоки формируются различного вида потери. Они учтены в схемах как геологические (при оконтуривании и подсчете запасов по заданным условиям), геотехнологические (оставление целиков различного типа, потери при отработке пластов), в «подушках» складов, в просыпях (при работе различных механизмов), при выдувании с пылью. Приведены схемы изменения качества угля на разрезах, включающие зольность, теплотворную способность, рабочую влажность, степень окисления, гранулометрический состав. Углубленное изучение по элементам позволило точнее и нагляднее подойти к сути количественной и качественной трансформации добываемого твердого топлива. Полученные результаты планируется использовать при развитии теоретических подходов к совершенствованию работы существующих и новых цепочек поставок угля и самих разрезов в их составе.

**Ключевые слова:** уголь, цепочки поставок, разрез, угольные потоки, технологические схемы, качество, трансформация, потери

## SCHEMES OF QUALITATIVE AND QUANTITATIVE COAL TRANSFORMATION FOR MINING AND PREPARATION FOR SUPPLY TO THE REMOTE CONSUMERS

**Fedorov V.I., Gavrilov V.L., Khoyutanov E.A.**

*Institute of Mining of the North of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, e-mail: khoiutanov@igds.ysn.ru*

Open-pit coal mines in central and north zones of Yakutia, in spite of their small-scale capacities, have important significance for fuel supply of housing and utilities. The article focuses on the chains of mining and supply of coal including processes of excavation, loading, transportation, storage, primary processing and sorting. It presents the existing technological schemes of open-pit mines using movable and fixed elements and containers, metering devices. Volumetric and qualitative coal transformations in the flow can be reduced to physical processes of rearrangement, accumulation, division, mixing and classification. The process of segregation, losability and dilution of minerals are additionally taken into account in the analysis. A variety of types of losses are formed when coal moves from a static state in stocks or faces to dynamic flows. They are considered in the schemes as geological (delineation of the deposit and resource estimation according to conditions), geotechnological (reservation of pillars of different type, losses for seam mining), in storage pillows, in spillages (for different mechanism), blowing with dust. The article presents the schemes of coal quality change on open-pit, including ash, calorific value, working humidity, degree of oxidation, particle distribution. In-depth study of the elements made it possible to more accurately and more clearly approach the essence of the quantitative and qualitative transformation of the mined solid fuel. It is suggested to use the results in the development of theoretical approaches to improving the work of existing and new coal supply chains and open-pits themselves in their composition.

**Keywords:** coal, supply chain, open-pit coal mine, coal flow, technological scheme, quality, transformation, losses

Базовыми элементами в системах обеспечения твердым топливом удаленных потребителей Республики Саха (Якутия) являются несколько разрезов, имеющих небольшую производственную мощность и расположенных как в заполярной зоне, так и в центральных районах региона. Количество добываемого и поставляемого ими каменного («Зырянский», «Джебарики-Хая», «Харбалахский») или бурого («Кангаласский», «Кировский», «Кемпендэйский») угля

предопределяется сложившимся ограниченным спросом, слабо изменяющимся в динамике. Общей тенденцией в последние годы является снижение объемов добычи, что вызвано в основном расширяющимся использованием первичных углеводородов и продуктов их переработки. Потребительские свойства добываемого угля зависят в первую очередь от природного уровня качества минерального сырья и во вторую от используемых систем разработки и под-

ходов к организации и управлению существующими технологическими и бизнес-процессами. Применяемые на этих разрезах системы разработки угля представляют собой определённую очерёдность выполнения горно-подготовительных, вскрышных и добычных работ. Последние из них можно свести к ряду основных моделей взаимодействия горных выработок и оборудования, формирования в границах горных отводов потоков полезного ископаемого.

Для идентификации процессов, происходящих на упомянутых выше разрезах, и изучения характера трансформации угольных потоков при прохождении ими от геологического ресурса к отгружаемому товарному углю использована методика В.В. Ершова [1], адаптированная и дополненная применительно к цепочкам добычи и поставки угля. В проанализированных и формализованных технологических схемах (рис. 1), представленных в порядке роста сложности от 1.1 к 1.5, выделяются следующие процессы: выемка, погрузка, транспортировка, складирование, первичная переработка и сортировка, отгрузка потребителям.

Условные обозначения к текущей схеме и всем последующим приведены на рис. 2. При этом авторские обозначения, представленные в [1], дополнены и откорректированы с учётом изменений, вытекающих из более глубокого изучения вопроса качественно-количественной трансформации потоков угля. В их числе, например: рассмо-

трение цепочки «забой – отгрузка продукции потребителю» как единого технологического пространства с самостоятельными процессами предварительной подготовки сырья к поставкам для потребления в последующих переделах [2–3 и др.]; влияние сегрегации на однородность качественных характеристик минерального сырья при взрывании угля в забоях или при формировании складов различного назначения [4]; потенциальное воздействие, оказываемое на минеральное сырьё сезонными накопительными температурными процессами в забоях и на складах [5]; развитие теоретических и практических представлений об интегрированном управлении качеством угля при разработке сложноструктурных месторождений [6, 7].

Представленные технологические схемы разрезов можно рассматривать как систему потоков угля различной интенсивности, которые перемещаются разнообразными механизмами (экскаватор, погрузчик, бульдозер, автосамосвал и др.) или под действием силы тяжести. На пути угольного потока имеются подвижные транспортирующие элементы  $T_n$  и неподвижные  $T_n$ , емкости подвижные  $E_n$  и неподвижные  $E_n$  для временного хранения угля, дозирующие устройства  $D_3$ , играющие подчиненную роль при формировании и движении потоков. Ряд элементов сочетает несколько функций, после идентификации у них двух функций ведущие на структурной схеме показаны первыми (рис. 3).

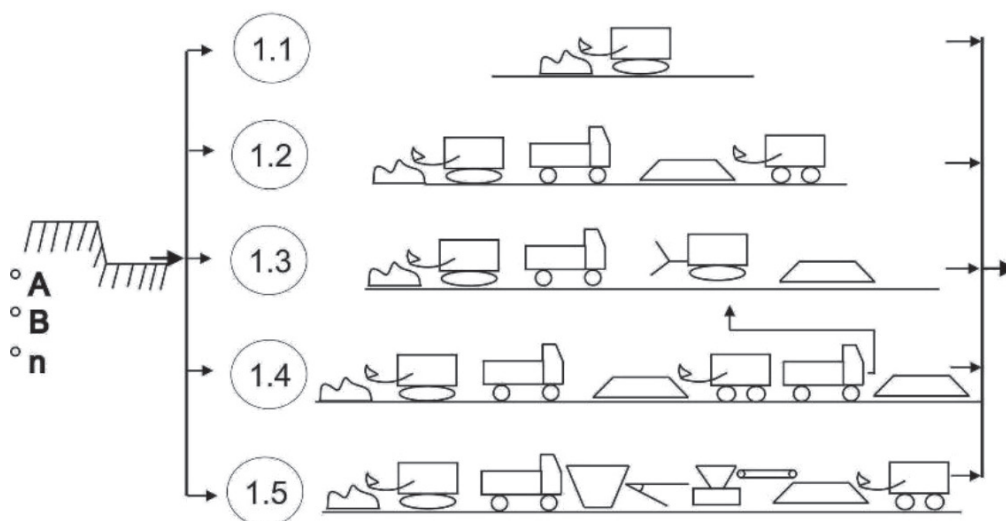


Рис. 1. Используемые технологические схемы на разрезах





















Технологический элемент	Обозначение на технологической схеме	Идентификация	Обозначение на структурной схеме	Трансформация	Потери угля	Изменение качества угля
Блок		б		(М)	Гл	
Угольная пачка	° В	П		(М)	Т	Q O x W
Забой		З		Р (М)	Р Т	Q O x W A
Навал угля		$E_n T_n$		А С К Г Р (М)	В Р	A Q O x W γ
Экскаватор		$T_n E_n$		Д	Пр	γ Q O x
Погрузчик фронтальный		$T_n E_n$		Д(П)	Пр	γ Q O x
Бульдозер		$T_n E_n$		Д(П)	Пр	γ Q O x
Автосамосвал		$T_n E_n$		С(П)	Пр В	γ Q O x W
Склад угля		$E_n$		А С (К) Г Р (М)	В Р	A Q O x W γ
Дробилка		$T_n$		Д С (М)	Пр	Q O x W γ
Конвейер		$T_n E_n$		С (М)	Пр В	Q O x W γ

Рис. 2. Условные обозначения к схемам

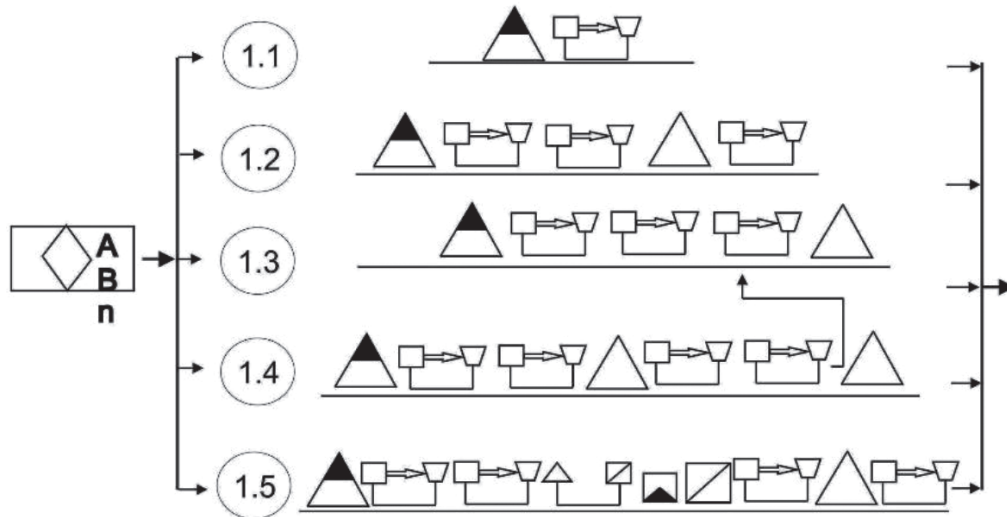


Рис. 3. Схемы идентификации угольных потоков

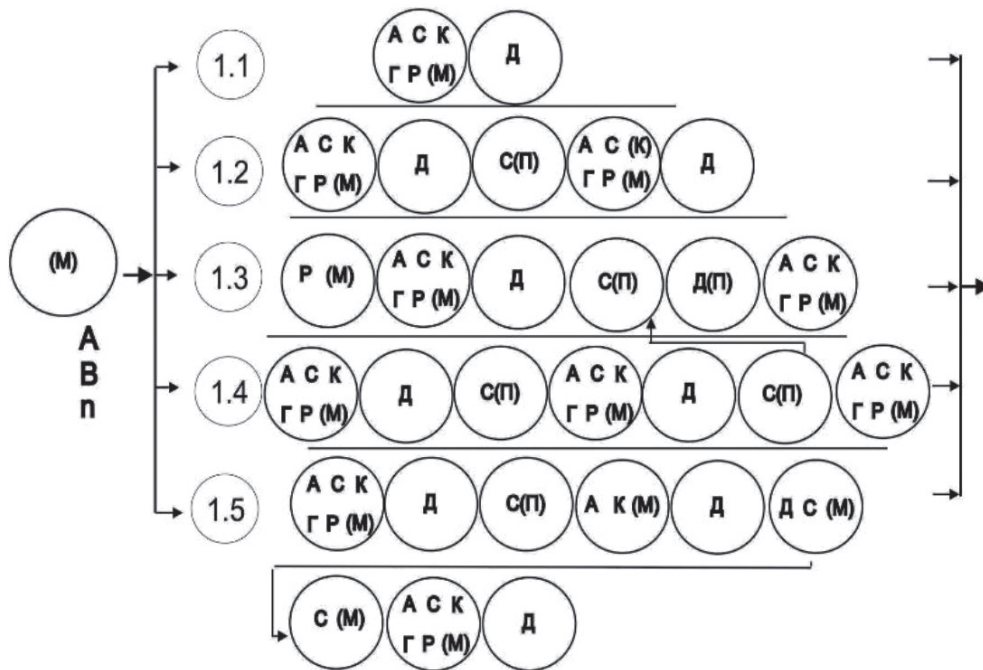


Рис. 4. Схемы трансформации угольных потоков на разрезах

Производимые в рамках единого технологического пространства объёмно-качественные трансформации угля в потоке сводятся к следующим физическим процессам (рис. 4): перестановка П, аккумуляция А, деление Д, смешивание С, классификация К. Для более адекватного понимания происходящих явлений необходимо дополнительно рассматривать ранее не включавшиеся

в анализ процессы сегрегации Г, смерзаемости М и разубоживания полезного ископаемого Р, которое помимо традиционного горно-технологического может включать ещё конструктивное, геолого-экономическое и природное разубоживание [8]. В совокупности всё это даёт возможность полнее учесть специфику отработки сложноструктурных угольных месторождений на Севере

и точнее подойти к рассмотрению процессов формирования качества добываемого и поставляемого потребителям угля.

Существующие схемы в основном можно отнести к классу комбинированных моделей формирования потоков полезного ископаемого со сложными внутренними связями, когда имеется несколько входов и выходов, наблюдается параллельное следование ветвей потоков с последовательным качественно-количественным преобразованием в каждой ветви, слияние ветвей в один поток, последующее разделение на несколько новых потоков.

В процессе перехода от статического состояния угля в запасах или забоях в динамическое в потоках возникают различного

вида потери, включающие геологические (при оконтуривании и подсчёте запасов по заданным кондициям) Гл, геотехнологические Т (оставление целиков различного типа, потери в почве, кровле пластов, «треугольниках», зонах нарушений), в «подушке» или «рубашке» складов Рб, в просыпах (при работе различных механизмов) Пр, при выдувании с пылью В (рис. 5, а). Рассмотрение порядка их формирования позволяет более наглядно представить по отдельным процессам этапы ранжирования всех видов возникающих потерь по экономической и экологической значимости с последующей разработкой мероприятий, направленных на обоснование их рационального уровня.

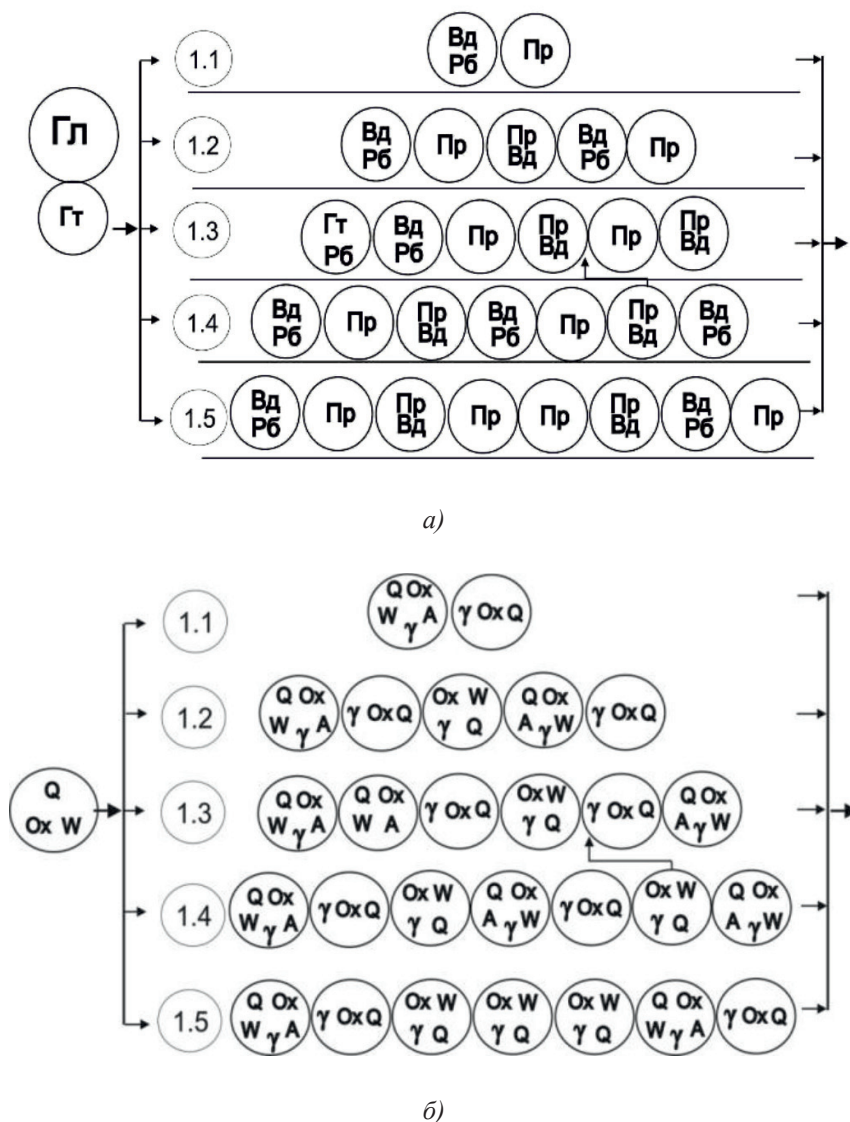


Рис. 5. Схемы количественных потерь (а) и изменения качества угля (б) на разрезах



При добыче и подготовке угля к поставкам также происходит изменение и его качества. Это касается рабочей влажности  $W$  (из-за воздействия атмосферных осадков, влияния солнца); зольности  $A$  (вследствие попадания или исключения пустой породы или высокозольной угольной массы в добываемое сырьё); теплотворной способности  $Q$  и степени окисления угля  $Ox$  (из-за соответствующих окислительных процессов при длительном нахождении угля во вскрытых и подготовленных к выемке запасов в забоях или добытого твёрдого топлива на складах); гранулометрического состава угля  $\gamma$  (из-за дробления и измельчения при воздействии механизмов или при многочисленных перевалках в забоях, на складах) (рис. 5, б).

Суммируя, можно говорить о комплексном рассмотрении и декомпозиции основных процессов, происходящих с углем в разрезах центральных и северных районов Якутии, начиная от добычи и заканчивая отгрузкой угля потребителям в труднодоступные районы. Поэлементное и поэтапное изучение позволило более точно и наглядно идентифицировать все используемые на малых разрезах технологические схемы, показать физическую суть трансформации угольных потоков, определить порядок количественной и качественной трансформации добываемого твёрдого топлива.

Полученные результаты планируется использовать при развитии методологических подходов к выявлению дополнительных резервов, направленных на совершенствование работы существующих цепочек поставок угля в труднодоступные регионы и самих разрезов в их составе, создание новых более эффективных, ресурсосберегающих и безопасных с точки зрения экономики и экологии угледобывающих производств.

#### Список литературы

1. Ершов В.В. Геолого-маркшейдерское обеспечение управления качеством руд / В.В. Ершов. – М.: Недра, 1986. – 261 с.
2. Трубецкой К.Н. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства / К.Н. Трубец-

кой, С.В. Корнилов, В.Л. Яковлев // Горн. журн. – 2012. – № 1. – С. 15–19.

3. Snowden D.V. Dealing with demands of technical variability and uncertainty along the mine value chain / D.V. Snowden, I. Glacken, M. Noppe // Publication Series – Australian Institute of Mining and Metallurgy. – 2002. – № 8. – P. 93–100.

4. Лаптев Ю.В. Оптимизация параметров материально-производственных запасов карьера в режиме устойчивого развития горного предприятия. Часть 1 / Ю.В. Лаптев, Р.С. Титов // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2013. – № 11. – С. 235–243.

5. Курилко А.С. Знакопеременные температурные воздействия как фактор энергосбережения для технологий комплексной подготовки рудного сырья в условиях криолитозоны / А.С. Курилко, Е.В. Захаров, В.И. Попов // Горн. информ.-аналит. бюл. – 2015. – № 5. – С. 84–91.

6. Геотехнологии открытой добычи минерального сырья на месторождениях со сложными горно-геологическими условиями: монография / С.А. Батугин, В.С. Литвинцев, В.И. Ческидов [и др.]. – Новосибирск : Изд-во «Гео», 2013. – 308 с.

7. Botvinnik A.A. Integrated model of the coal outlet stream in surface mining of coal seams / A.A. Botvinnik // Journal of Mining Science. – 2010. – Vol. 46. – № 3. – С. 271–279.

8. Ткач С.М. Объективная оценка разубоживания руд – перспективный путь повышения ресурсного потенциала недр / С.М. Ткач, С.А. Батугин, И.Д. Баракаева // Горный журнал. – 2016. – № 1. – С. 37–40.

#### References

1. Ershov V.V. Geologo-markshejderskoe obespechenie upravlenija kachestvom rud / V.V. Ershov. M.: Nedra, 1986. 261 p.

2. Trubeckoj K.N. O novyh podhodah k obespecheniju ustojchivogo razvitiya gornogo proizvodstva / K.N. Trubeckoj, S.V. Kornilkov, V.L. Jakovlev // Gorn. zhurn. 2012. no. 1. pp. 15–19.

3. Snowden D.V. Dealing with demands of technical variability and uncertainty along the mine value chain / D.V. Snowden, I. Glacken, M. Noppe // Publication Series Australian Institute of Mining and Metallurgy. 2002. no. 8. pp. 93–100.

4. Laptev Ju.V. Optimizacija parametrov materialno-proizvodstvennyh zapasov karera v rezhime ustojchivogo razvitiya gornogo predpriyatija. Chast 1 / Ju.V. Laptev, R.S. Titov // Gorn. inform.-analit. bjul. 2013. no. 11. pp. 235–243.

5. Kurilko A.S. Znakoperemennye temperaturnye vozdejstviya kak faktor jenergosberezenija dlja tehnologij kompleksnoj podgotovki rudnogo syrja v uslovijah kriolitozony / A.S. Kurilko, E.V. Zaharov, V.I. Popov // Gorn. inform.-analit. bjul. 2015. no. 5. pp. 84–91.

6. Geotehnologii otkrytoj dobychi mineralnogo syrja na mestorozhdenijah so slozhnymi gorno-geologicheskimi uslovijami: monografija / S.A. Batugin, V.S. Litvincev, V.I. Cheskidov [i dr.]. Novosibirsk : Izd-vo «Geo», 2013. 308 p.

7. Botvinnik A.A. Integrated model of the coal outlet stream in surface mining of coal seams / A.A. Botvinnik // Journal of Mining Science. 2010. Vol. 46. no. 3. pp. 271–279.

8. Tkach S.M. Obektivnaja ocenka razubozhivaniya rud perspektivnyj put povysheniya resursnogo potentsiala neдр / S.M. Tkach, S.A. Batugin, I.D. Barakaeva // Gornyj zhurnal. 2016. no. 1. pp. 37–40.