

М. П. ЗБОРЩИК, д-р техн. наук, В. В. НАЗИМКО, канд. техн. наук

О ПОДГОТОВКЕ ПАНЕЛЕЙ И БЛОКОВ ПРИ БЕСЦЕЛИКОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

При совершенствовании подземной разработки месторождений на глубинах 800—1000 м и более бесцеликовая отработка угольных пластов является наиболее приемлемой. В ходе подготовки выемочных полей бесцеликовая технология предусматривает отработку лав и охрану подготовительных выработок основного направления в разгруженных от горного давления зонах. Однако сложившийся порядок отработки запасов не обеспечивает условий для безремонтного поддержания основных подготовительных выработок на весь срок их службы. Даже в случае расположения основных магистралей в предварительно разгруженных от горного давления зонах выработки теряют устойчивость спустя 3—8 лет после отработки смежных с зоной разгрузки запасов. При расположении в породах малой прочности потеря устойчивости поддерживаемых в зоне разгрузки выработок происходит одновременно с развитием очистных работ в смежных выемочных полях.

Анализ себестоимости поддержания полевых магистральных штреков и основных наклонных выработок, первоначально пройденных в разгруженных зонах, показал, что после отработки смежных с зоной разгрузки запасов затраты на восстановление выработок значительны. Так, на глубинах более 900 м приведенные затраты на восстановление выработок в результате влияния очистных работ равны для Донецко-Макеевского района 52—80 р./м, причем периодичность перекрепления и подрывки почвы составляет 3—5 лет. Для условий Красноармейского района эти показатели составляют 117 р./м и 1—3 года соответственно.

Таким образом, при бесцеликовой отработке смежных с выработанным пространством разгрузочной лавы запасов разгрузка от горного давления уменьшается или исчезает полностью. Это приводит к потере устойчивости охраняемых основных подготовительных выработок. Причина — в особенностях взаимодействия зон сдвижений в окрестности разгрузочной и смежной с ней лав [2, 3].

В связи с тем что сдвижение горных пород сопровождается их разрушением, пластическими деформациями, перемешиванием отдельных слоев, исследуем взаимодействие зон сдвижений с позиций термодинамики необратимых процессов [4, 7]. Рассмотрим

массив, затронутый очистными работами, как дискретную систему, состоящую из двух (или нескольких) областей сдвижений от отдельных лав. С точки зрения граничных условий, система, затронутая очистными работами, является открытой, так как обменивается и веществом, и энергией с окружающей средой. Однако с достаточной для практики точностью этим обменом можно пренебречь и указанную систему считать термодинамически изолированной. Сдвигения горного массива в такой области являются затухающими и стремятся к определенному равновесному состоянию. Однако в первый момент нарушения покоя процесс далек от равновесия. Для такой системы второй закон термодинамики запишется в виде [4]

$$dS/dt = dS_e/dt + dS_i/dt, \quad (1)$$

где S — энтропия зоны сдвижений в окрестности разгрузочной лавы; t — время; dS_e/dt — поток энтропии между зонами сдвижений, который может иметь в общем случае любой знак; dS_i/dt — производство энтропии вследствие внутренних необратимых процессов, имеет в любом случае неотрицательное значение. Следовательно, вопрос о взаимодействии зон сдвижений разгрузочной и смежной лав эквивалентен вопросу, какой знак имеет поток энтропии и отличен ли он вообще от нуля, т. е. происходит ли обмен энтропией между областями и в каком направлении он протекает.

Согласно второму началу термодинамики энтропия изолированной системы, в которой протекают необратимые процессы, стремится со временем к максимальному значению [4]. Решающий вклад в необратимый процесс сдвижений вносит разрушение пород и их неупругое перемещение, перемешивание (например, обрушение кровли, сдвигение с запредельным деформированием). Энергией химических реакций окисления и других можно пренебречь. Тогда область горного массива, затронутого очистными работами, можно рассматривать как вязкую среду, в которой имеет место перепад скоростей сдвижений, связанных с внутренними силами трения [7]:

$$\Psi = TdS/dt = FX, \quad (2)$$

где Ψ — диссипативная функция; T — абсолютная температура, которую можно считать постоянной на запредельном участке деформирования горных пород; F — сила трения; X — скоростные напоры.

Диссипативная функция выражается в физическом смысле через произведение обобщенных сил на обобщенные потоки. Скоростные напоры X в данном случае отражают обобщенные потоки смещений при сдвигении горных пород. Обобщенные силы трения эквивалентны касательным напряжениям, зависящим от разности нормальных. Выразим обобщенные силы через перепад нормальных напряжений вдоль фиксированного направления. В связи с тем

что рассматривается взаимодействие соседних областей сдвижений, в качестве обобщенных термодинамических сил принимаем градиент горного давления P , характеризующий неоднородность распределения давления в плоскости пласта.

В силу затухания процесса сдвижений с течением времени $X \rightarrow 0$. Поэтому из формулы (2) вытекает, что скорость производства энтропии во всей системе в целом может стремиться к нулю при условии выравнивания распределения нормальных напряжений во всем объеме массива, затронутом сдвигами. Таким образом, максимальное значение энтропии всей системы достигается при выравнивании горного давления. Учитывая, что области сдвижений находятся в поле консервативных (гравитационных) сил, горное давление стремится к геостатическому уровню при $t \rightarrow \infty$. Итак, каждая вновь появившаяся область сдвижений или совокупность областей сдвижений увеличивают свою энтропию так, что горное давление стремится выравниваться по всему объему толщи, затронутой очистными работами.

Из полученного результата следует, что энтропия ранее выработанного пространства всегда больше, чем энтропия вновь отработанного пространства, поэтому поток энтропии в выражении (1) $dS_e/dt < 0$. Это значит, что возникает поток энтропии от относительно старого выработанного пространства к относительно новому. Более наглядно процесс обмена энтропией между областями сдвижений можно выразить положительным потоком неэнтропии [6] от нового выработанного пространства к старому. Поток энтропии реализуется между соседними выработанными пространствами в форме усиления неравномерности перераспределения горного давления, благодаря его росту в старом выработанном пространстве и уменьшению в новом. Полученные теоретические выводы подтверждаются результатами физического моделирования шахтными инструментальными наблюдениями [3].

Так, моделирование процесса сдвижений горных пород на эквивалентных материалах при бесцеликовом развитии очистных работ показало, что при отработке смежной лавы возникает поток смещений в сторону ранее отработанного участка. При этом в первоначальный момент времени после развития очистных работ резко усиливается неравномерность распределения горного давления. Например, в ранее выработанном пространстве, которое было разгружено от горного давления, у границы с новым выработанным пространством давление поднялось до $3\gamma H$ (γ — плотность пород, H — глубина разработки), а у противоположного края оно почти не изменилось. Во вновь выработанном (смежном) пространстве давление составило $0,35\gamma H$. С течением времени неравномерность распределения напряжений заметно уменьшилась.

Шахтные инструментальные наблюдения показали, что скорость сближений на контуре подготовительных выработок, поддерживае-

мых в относительно старых выработанных пространствах в 2—7 раз выше, чем в выработках, охраняемых в смежных относительно новых пространствах. При этом разница площадей сечения в свету выработок на соответствующих участках составляет 46 %. Если же подготовительная выработка пересекла ряд смежных выработанных пространств, образованных одновременно, но уже 15—20 лет тому назад, неравномерность сдвижений на контуре практически не отмечалась. Эти результаты подтверждают достоверность вывода о закономерном усилении неравномерности перераспределения горного давления в первоначальный момент развития очистных работ и выравнивании его со временем.

Таким образом, поток энтропии между старым и новым выработанными пространствами возникает лишь в первоначальный момент. Постоянно же существует только затухающее производство энтропии во всей зоне влияния горных работ и в обеих областях сдвижений в отдельности. Характерно, что полученный вывод распространяется на широкий круг условий и обладает высокой степенью обобщения. Так, полученная закономерность справедлива не только при развитии очистных работ в плоскости одиночного пласта, но и для развития очистных работ в свите пластов. При повторной под- или надработке горного массива степень разгрузки в выработанном пространстве первоочередного пласта уменьшается [5]. Этот факт объясняется возникновением потока негэнтропии от нового выработанного пространства на сближенном пласте к старому на соседнем ранее отработанном пласте. При этом основной поток дополнительных смещений направлен по нормали к напластованию.

Модель по уравнению (2) взаимодействия отдельных зон сдвижений позволяет проанализировать с термодинамических позиций способы подготовки выемочных полей при бесцеликовой технологии и наметить пути их совершенствования. Рассмотрим наиболее характерные сложившиеся схемы развития горных работ применительно к данной технологии. На первом этапе отрабатывается разгрузочная лава. В лучшем случае основные подготовительные выработки проходят в предварительно разгруженной зоне, но встречается и их последующая над- и подработка. После этого начинается развитие очистных работ. Случаи, когда смежные с выработанным пространством разгрузочной лавы запасы отрабатывают в самую последнюю очередь при доработке панели или блока с одновременным погашением охраняемых выработок встречаются только в проектах. На практике всегда развитие очистных работ начинается с выемки запасов, смежных с разгрузочной лавой. Это объясняется рядом организационных и экономических причин (необходимостью ускорения фондоотдачи, окупаемости предприятия и т. д.).

Встречается три основных направления развития очистных работ относительно границы разрушенной зоны: лавы движутся от гра-

ницы зоны разгрузки (отходящие лавы), в сторону разгруженной зоны (накатывающиеся лавы) или вдоль границ выработанного пространства разгрузочной лавы (параллельные лавы). В одних и тех же условиях удельная энтропия, характеризующая зоны сдвижения в определенный момент времени, является величиной постоянной. Поскольку энтропия относится к экстенсивным термодинамическим функциям состояния системы, она должна зависеть от размера выработанного пространства. Следовательно, в случае развития очистных работ отходящей лавой поток энтропии между зоной сдвижений разгрузочной лавы и зоной новой лавы будет минимален, поскольку размер ее выработанного пространства возрастает постепенно от нулевого значения. Кроме этого, по мере отхода новой лавы между низкоэнтропийной областью ее зоны сдвижений и высокоэнтропийной зоной сдвижений разгрузочной лавы станет накапливаться объем полой зоны сдвижений, энтропия которой будет со временем возрастать. Эта среднеэнтропийная область новой зоны сдвижений выполняет роль буфера, частично поглощающего потока смещений, что смягчает вредные проявления развития очистных работ.

В случае развития очистных работ накатывающейся лавой происходит сближение низкоэнтропийной зоны сдвижений новой лавы с высокоэнтропийной зоной разгрузки. Поэтому, как только происходит раздавливание защемленного целика, возникает мощный поток смещений в сторону зоны разгрузки, которая из-за этого, как правило, исчезает полностью. В связи с этим вариант развития очистных работ накатывающимися лавами является наиболее неблагоприятным с точки зрения сохранности разгруженной зоны и поддерживаемых в ней выработок. Вариант развития параллельными лавами, очевидно, занимает промежуточное положение между первыми двумя.

Несмотря на различие, с точки зрения вредного проявления, на разгруженную зону каждый из рассмотренных вариантов развития в той или иной мере оказывает вредное влияние на зону разгрузки, а поэтому не может считаться вполне удовлетворительным. Это вынуждает посмотреть на термодинамическую модель (2) взаимодействия зон сдвижений по-иному. В первый момент после развития очистных работ возникает условно мгновенный поток энтропии, в результате которого устанавливается значительный градиент горного давления: в бывшей зоне разгрузки появляется повышенный уровень горного давления, а в смежном новом выработанном пространстве — минимальный. С практической точки зрения имеет большое значение то, что этот градиент исчезает не сразу, а в течение десятилетий. Чем ниже пластичность, текучесть пород, тем медленнее идет релаксация напряжений и дольше сохраняется градиент горного давления. Из этого вытекает основная идея с точки зрения подготовки выемочного поля: в относительно

новом выработанном пространстве у границы с относительно старым выработанным пространством должна длительное время сохраняться зона, разгруженная от горного давления. Эта гипотеза была подтверждена лабораторными и шахтными натурными экспериментами [3] и легла в основу нового способа подготовки панели или блока [1]. Сущность способа подготовки заключается в том, что развитие очистных работ начинают с отработки одной или двух буферных лав, смежных с выемочным полем основного горизонта.

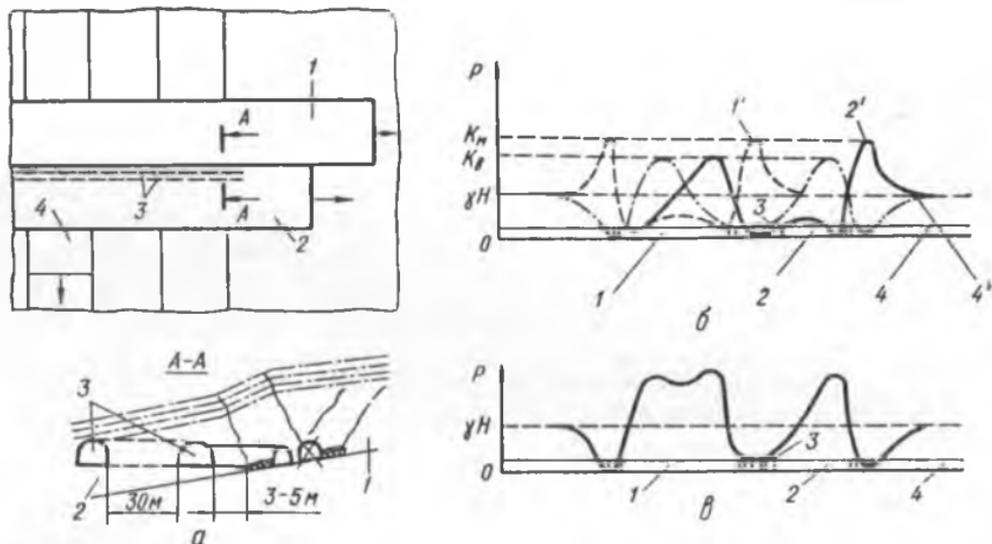


Рис. 1. Способ подготовки нового горизонта

зонта. Это поле обрабатывают затем отстающей лавой, выработанное пространство которой остается разгруженным в течение всего срока отработки панели или блока и используется для расположения основных подготовительных выработок. Таким образом, использование специального порядка ведения горных работ при подготовке панели или блока позволяет обеспечить устойчивость магистральных штреков или основных наклонных выработок на весь срок их службы. Ниже приводятся два примера реализации способа в типичных горно-геологических условиях Донбасса.

На рис. 1 показан погоризонтный способ подготовки магистральными штреками. Последовательность работ зависит от сроков подготовки горизонта. Если имеется двух-, трехлетний резерв времени, выгоднее остановиться на более простом и технологически надежном варианте. Вначале обрабатывается опережающая (буферная) лава 1 по столбовой или сплошной системе разработки в зависимости от конкретных условий. После этого отдельно обрабатывают разгрузочную лаву 2. После завершения процесса сдвижений в разгрузочной лаве проходят полевые магистральные штреки 3, которые прижимают к границе выработанного пространства

буферной лавы. Штреки 3 должны располагаться так, чтобы не пересекать бутовые полосы или другие искусственные опорные элементы, зоны вывалов кровли и т. д. В условиях Донбасса минимальное расстояние ближайшего к границе выработанных пространств штрека рекомендуется принимать равным 3—5 м от края искусственной опоры (рис. 1, а). Именно в этом месте реализуется максимальная степень разгрузки и обеспечивается наилучшая защита от вредных проявлений развития очистных работ.

Дальнейшее развитие очистных работ в принципе может вестись в любом направлении и порядке. Однако лучше, если со стороны падения запасы будут обрабатываться столбами 4 вниз по падению, т. е. отходящими от разгруженной зоны лавами. Влияние развития очистных работ на магистральные штреки 3 в этом случае будет минимальным, поскольку обменный энтропийный поток между смежными выработанными пространствами минимален. Ослаблению вредного влияния развития очистных работ со стороны падения способствует также максимальное удаление штреков 3 от границы зоны разгрузки. Со стороны восстания надежную защиту от вредного влияния развития очистных работ обеспечит выработанное пространство буферной лавы 1, которое поглотит основную долю негэнтропии новых выработанных пространств. Обработка двух буферных лав (как со стороны восстания, так и со стороны падения от выемочного участка разгрузочной лавы) рекомендуется в особо важных случаях для охраны наиболее ответственных подземных сооружений (околоствольных дворов, камер и т. п.).

На рис. 1, б показано качественное перераспределение горного давления в плоскости сечения $A - A$ на рис. 1, а, построенное на основе данных физического и математического моделирования, а также шахтных наблюдений за проявлениями горного давления. После отработки буферной лавы 1 в ее выработанном пространстве возникает зона разгрузки. Перераспределение горного давления описывается эпюрой 1'. Эпюра 2' отражает перераспределение напряжений после отработки разгрузочной лавы 2. На участке выработанного пространства буферной лавы 1, смежном с разгрузочной лавой 2, разгрузка исчезла, однако концентрация напряжений в выработанном пространстве K_b меньше, чем в нетронутым массиве K_m . Тем не менее многочисленные шахтные и лабораторные эксперименты убедительно доказали, что в ранее выработанном пространстве возникает повышенное горное давление со стороны вновь обрабатываемой смежной лавы, которое аналогично опорному давлению. После отработки запасов на смежных участках разгрузка в выработанном пространстве лавы 2 исчезает на участке со стороны падения (эпюра 4'), а в выработанном пространстве лавы 1 — полностью. Итоговая эпюра горного давления (без учета релаксации напряжений) приведена на рис. 1, в. Заметно, что в области расположения штреков 3 разгрузка сохранила максимальную степень.

В том случае, когда резерва времени на подготовку нового горизонта нет, рекомендуется обрабатывать буферную 1 и разгрузочную 2 лавы одновременно с отставанием разгрузочной на величину не менее шага посадки основной кровли. Магистральные штреки 3 при этом проводятся вслед за разгрузочной лавой 2 за пределами зоны активных сдвижений в обрушенных и уплотненных породах. Указанное значение минимального разрыва необходимо для того,

чтобы в буферной и разгрузочной лавах процесс сдвижений протекал обособленно. Тогда разница энтропий, а следовательно, и разгрузка будет существенной. Преимущество данного варианта заключается в том, что добыча с горизонта идет с начала его подготовки без перерывов вплоть до отработки самых последних запасов. Недостатки связаны со сложностью увязки очистных и подготовительных работ во времени и пространстве, что снижает надежность работы очистных и подготовительных забоев, усложняет схему вентиляции.

На рис. 2 показан пример подготовки уклонного панельного поля. Вначале обрабатывают буферный столб 1, затем разгрузочный 2 и после завершения процесса сдвижения проходят панельные уклоны 3. Уклоны 3 прижимают к границе выработанных пространств буферной и разгрузочной

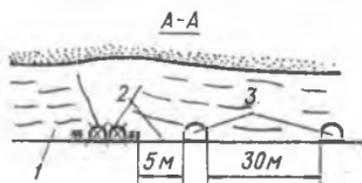
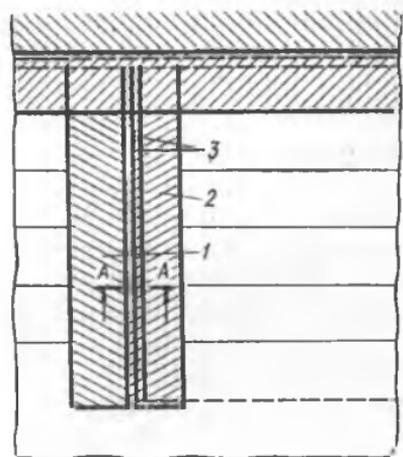


Рис. 2. Способ подготовки новой панели

лав и располагают за пределами охранных элементов в обрушенных и уплотненных породах (разрез А — А).

Следует отметить, что вместо отработки буферной лавы, в указанных примерах, может быть оставлена резервная защитная полоса угля шириною 150—200 м. Однако в этом случае требуется соблюдение двух условий. Во-первых, дальнейшее развитие очистных работ должно вестись лавами, параллельными разгрузочной, т. е. резервную полосу нельзя перерезать выемочными выработками. Во-вторых, резервную полосу можно вынимать только после полной отработки панели или блока одновременно с погашением выработок основного направления. Последнее условие на практике соблюсти особенно трудно, так как постоянно существует искушение обработать близлежащие запасы. Как только обрабатывается резервная защитная полоса, выработки основного направления теряют устойчивость и, в лучшем случае, требуют многократного перекрепления и подрывки почвы.

Новый способ подготовки выемочных участков реализован на пласте m_3 шахты им. В. М. Бажанова ПО «Макеевуголь». Пласт отработан на большей площади шахтного поля. Размеры сплошных выработанных пространств составляют 1 км и более, при этом порядок отработки смежных столбов встречается разный. Это создало благоприятные условия для использования дополнительных резервов зон разгрузки, которые образуются в сплошном выработанном пространстве на границе двух отработанных в разное время столбов. В процессе подготовки нового гор. 1100 м возникла необходимость в проведении нескольких вентиляционных и конвейерных выработок. В качестве объекта внедрения были выбраны вентиляционный и конвейерный ходки западных лав гор. 1100 м, западный и вентиляционный ходок гор. 1012 м и западный магистральный штрек гор. 930 м (наклонный участок). Выбор этих выработок был обоснован тем, что они ориентированы параллельно границам выработанных пространств. Проходили выработки согласно рекомендациям Донецкого политехнического института по обрушенным и уплотненным породам в относительно новом выработанном пространстве вблизи границы с относительно старым. В процессе эксплуатации проводили периодическое обследование выработок с замером их габаритов и анализом состояния вмещающих пород, крепи и затяжки. Период наблюдений составил более 6 лет. В результате анализа наблюдений установлено, что на участках сплошного выработанного пространства состояние выработок удовлетворительное. Высота сечения в свету составляет 2,8—3,1 м, ширина — 3,2—3,5 м. Крепи из спецпрофиля, установленные через 1 м, полностью не обжаты, хотя с момента проходки прошло 3—6 лет. Сеточная и деревянная затяжки целы. Ремонтные работы и подрывка ведутся лишь на некоторых участках выработок, которые пересекают угольные целики. Для сопоставления были обследованы участки контрольных выработок, охраняемых в относительно старых выработанных пространствах у границы с относительно новым пространством. При этом отчетливо видна разница в состоянии участков контрольной выработки, расположенных в выработанных пространствах разного возраста. В ранее выработанном пространстве заметно ухудшение состояния выработки на участке 50—60 м, примыкающем к границе выработанных пространств. Здесь наблюдается значительная деформация крепи, выдавливание затяжек, пучение с перекосом рельсового пути. Площадь сечения на деформированном участке контрольной выработки уменьшилась в 1,5 раза.

Анализ экономических показателей подтвердил эффективность нового способа. В результате использования разгруженных от горного давления зон обеспечена экономия на поддержании в размере 36,56 р./м в год. При объеме поддержания, равном 2650 м, достигнут экономический эффект 94 634 р.

Таким образом, анализ процесса сдвижений горного массива при развитии очистных работ с позиций термодинамики необратимых процессов позволил установить новые закономерности механизма активизации сдвижений при бесцеликовой отработке запасов. Сразу после отработки смежной новой лавы между ее выработанным пространством и ранее отработанным смежным пространством возникает условно мгновенный поток энтропии. Этот поток связан с уменьшением степени разгрузки на ранее отработанном участке и образованием разгруженной зоны во вновь отработанном пространстве. Наряду с этим процессом постоянно имеет место производство энтропии во всех выработанных пространствах, которое сопровождается сглаживанием горного давления по всей площади общего выработанного пространства.

На основе установленных закономерностей предложены способы подготовки панели, блока или горизонта, обеспечивающие безремонтное поддержание основных подготовительных выработок благодаря защите зон разгрузки от вредного влияния развития очистных работ.

Список литературы

1. А. с. 905496 СССР, МКИ Е 21F 15/00. Способ охраны подготовительных выработок.

2. Зборщик М. П., Назимко В. В. Влияние отработки смежных лав на устойчивость подготовительных выработок, охраняемых в зонах разгрузки // Горное давление в капитальных и подготовительных выработках.— Новосибирск : ИГД СО АН СССР, 1983.— С. 32—33.

3. Зборщик М. П., Назимко В. В. Закономерности горизонтальных сдвижений толщи пород при обработке пологих пластов // Уголь Украины.— 1986.— № 5.— С. 18—22.

4. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов.— М. : Изд-во иностр. лит., 1960.— 126 с.

5. Прокофьев В. П., Костоманов А. И. Проявление горного давления при выемке подработанного пласта // Разраб. месторождений полез. ископаемых : Респ. межвед. науч.-техн. сб.— 1967.— Вып. 12.— С. 3—9.

6. Ребане К. К. Энергия, энтропия, среда обитания.— М. : Знание, 1985.— 64 с.

7. Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов.— М. : Мир, 1967.— 544 с.

Поступила в редколлегию 10.02.87.