

Д-р техн. наук К.К. Софийский,  
кандидаты техн. наук Д.П. Силин,  
В.И. Гаврилов, А.П. Петух,  
инженеры Р.А. Агаев, В.В. Власенко  
(ИГТМ НАН Украины)  
инженер О.В. Московский  
(ГП «Дзержинскуголь»)

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ТРЕЩИНОВАТО- ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЕ УГЛЯ**

У роботі наведено сучасні уявлення про тріщино-пористу структуру викопного вугілля, описані дослідження фізико-механічних, сорбційних і фільтраційних властивостей пористих тіл, вплив капілярної вологи на процеси фільтрації.

## **ANALYSIS OF MODERN CONCEPTIONS OF FISSURE-POROUS STRUCTURE OF COAL**

In work the modern conceptions of fissure and porous structure of fossil coal are cited, researches of physical and mechanical, sorptional and filtration properties of porous bodies, influence of capillary moisture on the processes of filtration are described.

Ископаемые каменные угли относятся к классу осадочных горных пород, структура и свойства которых отражают сложные геологические и физико-химические процессы превращения исходного растительного материала. Исходный материал углей – отмершие высокоорганизованные растения, биомасса микроорганизмов и минеральные вещества в период торфонакопления и раннего диагенеза подвергались воздействию комплекса геолого-генетических факторов, специфических для каждого угольного месторождения. Фундаментальные исследования осадочного процесса, выполненные в последние десятилетия XX столетия П.П. Тимофеевым, Л.И. Боголюбовой и др. позволили выявить общие направления и закономерности в формировании структуры органического вещества и вмещающих пород углей большинства угольных месторождений и бассейнов. На основании этих исследований была создана генетическая классификация гумусовых углей угольных месторождений [1]. Основным параметром этой классификации принят генетический тип углей, характеризующий органическое вещество углей во всем метаморфическом ряду по степени разложения лигниноцеллюлозных тканей. Генетический тип угля является параметром, характеризующим морфологию вещества, его структуру и текстуру и не зависит от стадии метоморфизма угля. В самом общем случае основным фактором, определяющим генетический тип, является степень участия кислорода в процессах превращения веществ-углеобразователей на стадии генезиса углей.

Уголь – высокомолекулярное вещество. Структура ячейки макромолекулы угля отличается в ряду метаморфизма числом циклогексановых и циклопентановых ароматических колец и боковыми цепочками. Ячейки макромолекул угля соединены между собой боковыми цепочками из алифатических, нафтеноалифатических, кислород- и азотсодержащих групп.

В ряду метаморфизма с уменьшением выхода летучих веществ происходит

потеря кислородсодержащих групп вначале метоксильных, затем карбонатных и т.д. При дальнейшем уменьшении выхода летучих веществ от коксующихся углей до антрацитов гидрофильность постепенно повышается путем отщепления алифатических радикалов, и на свойства поверхности углей преобладающее влияние начинают оказывать ароматические элементы структуры углей.

Макромолекула угля средней стадии метаморфизма содержит более 600 атомов углерода, 500 атомов водорода и 70 атомов кислорода. Кроме них в незначительном количестве присутствуют в связанном состоянии атомы азота и серы, причем содержание азота остается относительно постоянным и составляет для каменных углей приблизительно 1%, а для антрацитов – до 2,5% [2].

Ядра макромолекулы представлены в основном бензольными кольцами и обладают наибольшей прочностью. Структура ядра макромолекулы у всех каменных углей отличается лишь числом циклогексановых и циклопентановых ароматических колец и в процессе механического разрушения почти не изменяется.

Макроскопическая тонкая структура углей, т.е. составляющая часть ископаемого угля, представлена главными группами петрографических компонентов – витреном, фюзеном и форменными элементами. По мере перехода от бурых углей к антрацитам форменные элементы не претерпевают особых изменений; у витрена содержание углерода повышается, а водорода и кислорода – уменьшается.

Средняя энергия связи между ароматическими макромолекулами в слое приблизительно пропорциональна числу углеродных атомов в нем. Учитывая, что на каждый ароматический атом углерода на такую энергию связи приходится около 6,3 кДж/моль (по данным Д.В. Ван-Кравелена и Ж. Шуера), энергия связи между слоями, построенными из 35-40 ароматических углеродных атомов, в коксующихся углях составит 210-252 кДж/моль.

Исходя из величин энергии связей надо полагать, что при разрушении углей в первую очередь разрываются химические связи боковых цепочек и межслоевые связи, с меньшей энергией взаимодействия. Эти разорванные связи и их число в момент разрушения определяют многие механические, физико-механические и физико-механические свойства углей.

Свойства углей определяются не только исходным материалом, но и условиями преобразования его в процессе углефикации.

Представления о данной сформированной природой структуре формировались на протяжении длительного времени, базируясь на доступных в тот момент методах экспериментальных исследований, претерпевая при этом существенные изменения.

Высокая адсорбционная способность углей, а также некоторые их физические и оптические свойства способствовали распространению взглядов о коллоидной природе ископаемых углей. Представления обуглях как о коллоидных системах привели к признанию их мицеллярной структуры. Основой являлись надмолекулярные частицы – мицеллы, построенные в виде агрегатов мелких молекул, связанных силами Ван-дер-Ваальса [3]. Форма мицелл принималась шарообразной или грушевидной.

Различия в свойствах углей объяснялись степенью полимеризации ядра и оболочки, строением мицелл и силой их взаимодействия. Однако, исходя из схемы мицеллярного строения частиц каменного угля, не удалось объяснить сущность и механизм химических процессов, происходящих при метаморфизме углей и их нагревании.

Выяснение масштабной упорядоченности структуры углей появились с применением малоуглового рентгеновского рассеяния.

Обнаруженное Кришимурти рассеяние в области малых углов привело его к предположению, что уголь находится в промежуточном состоянии между истинно кристаллическим и аморфным, которое он назвал паракристаллическим. Махадеван объяснил малоугловое рассеяние коллоидной природой дифрагирующих частиц. Бруссетом была обнаружена полоса в области малых углов при исследовании лигнитов. По этой полосе размеры элементарных частиц лигнитов колебались от 0,4 до 0,6 нм. Им было подтверждено положение о том, что малоугловое рассеяние не зависит от расположения атомов внутри рассеивающих частиц. Райли связал наличие интенсивного максимума с размерами основных частиц и расстояниями между ними.

Хиршу удалось получить кривые рассеяния в област весьма малых углов. При малых углах он наблюдал два типа рассеяния: диффузное рассеяние в области, соответствующей 2,0 нм, которое резко возрастало с уменьшением угла, и дискретное рассеяние, характеризующее повторяемость в структуре угля в диапазоне в диапазоне 1,5-4,0 нм.

В настоящее время общепринятой является двухфазная физико-химическая модель угля [4].

Согласно этой модели угольная структура состоит из двух компонент – макромолекулярной сетки и молекулярной компоненты, представляющей собой сложную смесь растворенных молекул. Макромолекулярная сетка построена из пересекающихся ароматических структур, которые состоят из скрученных или случайно распределенных слоевых решеток. Основной компонентой макромолекулярной сетки являются ароматические углеродистые структуры. С увеличением степени углефикации они накапливают 2-4 ароматических слоя и формируют так называемые кристаллиты – совокупности ароматических колец, соединенных со множеством разнообразных функциональных групп, алифатических и гидроароматических фрагментов, которые сшиты в макромолекулы нерегулярного строения различными мостиками [5].

Такой подход принимается большинством исследователей.

Получила распространение также модель Фукса-Ван-Кревелена. Она состоит из центральной ароматической части, которая содержит от 6 до 11 конденсированных ядер, соединенных друг с другом. Вокруг них расположены гидроароматические группировки, содержащие гетероатомы и боковые заместители. Структурные ячейки не представляют собой точного подобия друг друга, как в полимере регулярной структуры.

Более поздние модели подробнее описывают строение неароматической части органической массы углей. Усредненные «молекулы битуминозного угля», предложенные Вайзером, Соломоном, Хереди и Лакзаровым, имеют заметное

сходство, несмотря на композиционные различия в скелетной структуре и распределении пространственных групп [6].

Исследования Шинна по ожижению угля позволили существенно обновить представления по ряду важных аспектов его структуры. Сопоставление состава угля и жидких продуктов производилось с учетом механизма химических реакций и данных по модельным соединениям, с целью определения типа связей разрушающихся при ожижении.

Контраст между продуктами двухстадийной переработки и простого растворения угля позволил сформулировать взгляд на уголь как на вещество, компонентами которого в большинстве являются активные низкомолекулярные единицы. Относительно высокомолекулярные продукты однократной термической обработки могут быть продуктами конденсации мелких фрагментов, а не продуктами деполимеризации исходного угля.

Более поздние гипотезы, основанные на  $C^{13}$  ЯМР или ЭПР данных, привели к представлениям о структуре органической массы угля, состоящей из жесткой молекулярной сетки, внутри которой содержится подвижная молекулярная компонента. В модели Ковача и Ларсена разделяются молекулярная и макромолекулярная фазы. Макромолекулярная фаза образует трехмерный скелет, состоящий из макромолекулярных фрагментов, связанных между собой поперечными связями [7]. Молекулярная фаза распределена в порах макромолекулярной фазы или на ее краях. Модель не устанавливает, каким образом эти две фазы связаны между собой.

Основываясь на данных по исследованию экстракции углей растворителями был сделан вывод о связи этих фаз посредством электронно-донорно-акцепторных взаимодействий. Наличие последних обуславливает существование молекулярных комплексов, так как электронно-донорные и электронно-акцепторные центры существуют в обеих фазах. При этом подразумевается, что молекулярная сетка, состоящая из ароматических фрагментов, связанных алифатическими или алициклическими звеньями, не является планетарной.

Молекулярная фаза состоит из сравнительно небольших молекул по сравнению с «макромолекулами», имеющими поперечные связи. Эти молекулы не идентичны по химическому составу и физическому состоянию. Сообщалось более чем о 300 компонентах, идентифицированных в экстрактах высоколетучего битуминозного угля.

Методом масс-спектрометрии было установлено, что летучая часть экстрактов состоит преимущественно из веществ с молекулярной массой в интервале 200-600 у.е.

Дубер и Вечковский пришли к выводу, что парамагнитные центры, расположенные в макромолекулярной фазе, дают узкую линию, а спины молекулярной фазы – широкую линию ЭПР.

Подводя итог рассмотрению двумерных химических моделей структуры угля следует сказать, что они содержат мало информации о природе физических, механических и др. свойств ископаемого угля, не учитывают объемной упаковки структуры. Размер макромолекулы выбирается в них субъективно, что не позволяет рассматривать сложную проблему молекулярной массы.

Из моделей трехмерной упаковки структуры органической массы углей наиболее известна модель В.И. Касаточкина. В рамках этой модели витреновые вещества рассматриваются как пространственные полимеры со стеклообразной аморфной структурой и состоят из совокупности плоских гексагональных атомных сеток (ламелей) циклически полимеризованного полимера, связанных между собой радикалами в виде молекулярных цепей линейно полимеризованных углеродных атомов [8]. Несколько ламелей объемно объединены в так называемые «кристаллиты» - образования, подобные кристаллам графита, со слабо параллельными слоями и разориентированными друг относительно друга в объеме. Такие структуры связаны между собой алкильными цепочками.

Развитие и усовершенствование представлений о структуре угля претерпело существенные изменения с появлением микроскопии высокого разрешения. Исследования на электронном микроскопе YSM-35 показали, что поры витринита имеют округлую, шаровидную форму на стадии марок Д, Г, Ж и округлую веретенovidную, гроздьевидную форму на стадии марок К, ОС, Т [9].

Поры образуют равномерно рассеянные скопления в пределах однородного слоя витринита, расположены послойно или на контактах слоев и на участках развития микротрещин образуют групповые скопления. По мере повышения увеличения растрового микроскопа обнаруживаются системы пор все меньшего размера. Изменение размера пор и их формы в процессе метаморфизма и генерации газов указывают на сложные процессы преобразования молекулярной структуры витринита.

Особую группу поровой емкости составляет межслоевое пространство с распространенными зонами смятия, скольжения и перемещения, а также трещинные полости, характерные для контактных зон включений витринита в однородную гелифицированную массу.

Айруни [10] наблюдал ряд пористых структур ископаемого угля на различных масштабных уровнях. Были показаны поры размерами  $1-10^5$  нм, форма связи и состояние газа в которых могут сильно отличаться.

Метод трансмиссионной микроскопии [11] позволил получить прямое изображение основных структурных единиц, их общую ориентацию в пространстве, т.е. микротекстуру материала, не доступную прямому определению другими методами.

Визуально макромолекулярная сетка представлена частицами, напоминающими твердое вещество, а молекулярная компонента имеет вид жидких частиц. Оба типа частиц содержат основные структурные единицы примерно одного размера ( $< 1$  нм) независимо от стадии метаморфизма твердого топлива. Исследование углей низкой стадии метаморфизма показало, что основные структурные единицы ориентированы в них произвольно благодаря присутствию большого количества функциональных групп. В высокометаморфизированных углях и продуктах пиролиза размеры основных структурных единиц не изменяются, но они ориентируются локально параллельно внутри объемов, названных доменами молекулярной ориентации. Каждый домен молекулярной ориентации образует стенку поры. Микротекстура материала напоминает смятый лист бумаги.

Установлено, что в ходе карбонизации до стадии полукоксования углеродные материалы осуществляют переход в пластическое состояние, в течение которого основные структурные единицы переориентируются с образованием доменов. При этом кислород обеспечивает образование поперечных связей и предотвращает развитие больших доменов. Напротив, водород действует как пластификатор, что способствует образованию больших доменов. Таким образом, химический состав определяет характер переориентации основных структурных единиц.

К началу 90-х годов по мере разработки и внедрения современных физико-технических методов исследований изменилось представление о строении угля и его сорбционных возможностях (было установлено, что сорбционные центры угля парамагнитны). Для изучения структурных особенностей угля при оценке их выбросоопасности большие возможности появились с внедрением метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), которое осуществлялось в ИГТМ НАН Украины [12].

Появилась возможность изучения системы «уголь-газ» при изменении в ней давления, моделируя, таким образом, процессы взаимодействия угля и газа в угольном пласте.

На основе проведенных исследований определены значения структурных показателей угля (концентрация парамагнитных центров и коэффициент пассивации) и на их основе рассчитаны значения потенциальной сорбции углей.

Анализ полученных результатов подтверждает тот факт, что значительное газовыделение при внезапных выбросах угля и газа, превышающее прогнозируемую метаноемкость пласта, определяется аномальными значениями его сорбции (60-80 мл/г).

Разработке вопросов связанных с выявлением особенностей состояния и поведения природной системы «уголь-газ» посвящены основополагающие работы А.Т. Айруни, С.В. Кузнецова, Г.Д. Лидина, Н.В. Ножкина, Л.А. Пучкова, А.А. Скочинского, В.В. Ходота и многих других исследователей.

Вместе с тем, несмотря на широкий круг проблем, решенных в этих работах, исследование процесса трансформации структуры угольного вещества имеет фундаментальное значение для понимания многих газодинамических явлений в угольных шахтах и закономерностей их протекания [13].

Основным фактором, стимулирующим исследования в этом направлении, является недостаточность теоретических разработок в области создания новых представлений о микро- и макроструктуре угольного вещества, о движущих силах и закономерностях трансформации его структуры в различных условиях.

Исследования в указанной области завершились созданием научных положений теории структурной трансформации газонасыщенного угольного вещества. При этом теория явилась результатом обобщения цикла теоретических и экспериментальных исследований по изучению на природных углях равновесной сорбции различных газов, кинетики и термокинетики процесса газовыделения.

Подход к сорбционным явлениям и их анализ с точки зрения теории структурной трансформации позволил получить ряд новых научных результатов, в

том числе:

- сорбированный в микропорах угольного вещества газ следует рассматривать как начальную движущую силу процесса трансформации структуры угля и как фактор существенно (2,5-4 раза) уменьшающий его коэффициент поверхностного натяжения и значение трещиностойкости и прочностные свойства в 1,6-2 раза;

- классификация пор в природном угле определяется не их геометрическими размерами, а физическим состоянием молекул сорбента в этих порах;

- причина различия в сорбционной емкости углей по отношению к разным газам обусловлена размером их молекул и объемом соответствующих этим газам микросорбционных подпространств;

- структурный и энергетический параметры надежно определяются в любой точке изотермы сорбции, а не только в точке, соответствующей степени заполнения сорбента сорбатом равной 0,7.

Ископаемые угли – это гетерогенные системы с неоднородным химическим составом поверхности пор и трещин, что обусловлено не только разнообразием слагающего их вещества, но и наличием в них различных примесей. Неоднозначность химического состава углей связана с физико-химической неоднородностью их внутренней смачиваемой поверхности. Многочисленные макро- и микродефекты обуславливают непостоянство удельной поверхности энергии угольного вещества и его смачиваемости.

Угольные пласты в массиве разбиты сетью трещин самых разнообразных очертаний, размеров и форм. Среднее расстояние между трещинами для ненарушенных углей составляет 1,6 мм, малонарушенных – 0,5 мм, сильнонарушенных – 0,14 мм и раздробленных – 0,05 мм. Фильтрующие пространства в зависимости от проявления молекулярных сил и величины раскрытия щели подразделяются на три класса: сверхкапиллярные с раскрытием щели 0,254 мм, капиллярные – (0,254-0,0001) мм и субкапиллярные – 0,0001 мм. Межзерновая проницаемость угля редко превышает 30-40 мдарси, а общая проницаемость массива превышает сотни мдарси, поэтому движение воды в таких условиях, по сути дела, является фильтрацией в трещиноватой среде [14].

Структурное состояние угля в краевой части пласта непостоянно как в пространстве, так и во времени. Массив угля впереди очистного забоя на длине (1,5-2,0)м из-за техногенной трещиноватости имеет по сравнению с нетронутым массивом повышенную водопроницаемость. В зоне опорного давления, точка максимума напряжений в которой отстоит от кромки пласта на расстоянии (3-4)м, природные трещины и микротрещины под действием повышенного горного давления уменьшаются в размерах, при этом соответственно уменьшается водопроницаемость пласта в этой зоне. На ниспадающей ветви зоны опорного давления водопроницаемость пласта возрастает по мере уменьшения пригрузок [15].

Начиная с некоторой глубины угольный пласт, при наличии поверхности обнажения, приобретает новое свойство – способность к саморазрушению. Механизм образования наведенной трещиноватости рассматривается в литературе очень редко и является не достаточно изученным в рамках традиционного под-

хода [16].

Основной причиной выделения метана из угольных пластов в скважину является система техногенных трещин, образующаяся и расширяющаяся на больших глубинах вокруг скважины при ее бурении и отводе газа. Метан генерируется на острие растущих трещин в результате разложения твердого углеводородного раствора.

В действительности газоносные угольные пласты в нетронутном состоянии непроницаемы [17]. В них трещины закрыты, а поры со свободным газом изолированы друг от друга. При разгрузке пласта от горного давления и при усадке угля в результате десорбции газа трещины раскрываются и заполняются тем же десорбирующимся газом. Там, где раскрывающиеся трещины и пересекаемые ими поры соединяются в единую систему фильтрационных каналов, возникает проницаемая зона. В процессе фильтрации и десорбции газа размеры этой зоны непрерывно увеличиваются. В этом состоит одна из принципиальных особенностей газоносных угольных пластов. С позиций газодинамики, движущаяся в пласте граница проницаемой зоны является как бы фронтом фильтрации, на котором происходит переход закрытых трещин в открытые с образованием соответствующих пустот и подпитка фильтрационного потока десорбирующимся газом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние термообработки на механические и физико-химические свойства углей разных генотипов / С.А. Эпштейн С.А., В.И. Минаев, О.В. Барабанова [и др.].- ГИАБ. – 2008. - №5. - С.371-375.
2. Забурдяев Г.С. Структура углей и заболеваемость антракосиликозом / Г.С. Забурдяев // Безопасность труда в промышленности. – 1993. - №10. – С.12-15.
3. Русчев Д.Д. Химия твердого топлива / Д.Д. Русчев – Л.: «Химия», 1976. – 256 с.
4. Prinz D., Puyckhout-Hintzen W., Littke R. Delopment of the meso- and macroporous structure of coals with rank as analyzed with small-angle neutron scattering and adsorption experiments // Fuel. – 2004. - 83, N 4-5. – P.547-556.
5. Lu L., Sahajwalla V., Kong C., Harris D. Quantitative X-ray diffraction analysis and its application to various coals // Carbon. – 2001. – 39, N 12. – P.1821-1833.
6. Алексеев А.Д. Физика угля и горных процессов / А.Д. Алексеев – К.: Наукова думка, 2010. – 423 с.
7. Larsen J.W., Covach J. Polymer structure of bituminous coals // Organic chemistry of coal. ACS Symp. – New York (U.S.), 1978. – Ser. 71. – P.36-49.
8. Касаточкин В.И. Строение и свойства природных углей / В.И. Касаточкин, Н.К. Ларина – М.: Недра, 1975. – 160 с.
9. Закрытые поры ископаемых углей / А.Д. Алексеев, В.В. Синолицкий, Т.А. Василенко [и др.] // ФТПРПИ. – 1992. - №2. – С.99-106.
10. Айруни А.Т. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах / А.Т. Айруни – М.: Наука, 1987. – 310 с.
11. Oberlin A. High-resolution TEM studies of carbonization and graphitization // Chem. and Phys. Carbon. – 1989. – 22. – P.1-143.
12. Лукинов В.В. Генерация метана из угля и возможности ее оценки методом электронного парамагнитного резонанса / В.В. Лукинов, В.А. Гончаренко, А.В. Бурчак // ГИАБ. – 2000. - №8. – С.85-86.
13. Бобин В.А. Структурная трансформация газонасыщенных углей / В.А. Бобин // ГИАБ. – 1999. - №6. – С.88-90.
14. Панов Г.Е. Предварительное увлажнение массивов на угольных шахтах и карьерах / Г.Е. Панов – М.: Недра, 1970. – 128 с.
15. Неволин Н.В. Нагнетание воды в зону предельно напряженного состояния пласта с низкопористым углем / Н.В. Неволин, Б.П. Шилков, П.А. Лыхин. // Изв. вузов. Горный журнал. – 2003. - №1. – С.37-43.
16. Шестопалов А.В. О технологии промышленной добычи метана из угольных пластов / А.В. Шестопалов // Сб. науч. тр. ДГА. – 1998. - №5. – С.18-21.
17. Кузнецов С.В. Основная задача теории фильтрации газа в угольных пластах / С.В. Кузнецов, В.А. Трофимов // ФТПРПИ. – 1999. - №5. – С.13-18.

Д-р техн. наук Д.М. Житленок,  
инж. А.С. Крышнев  
(ГП «Дзержинскуголь»)  
инж. В.В. Власенко  
(ИГТМ НАН Украины)

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВИБРАТОРОВ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ ЧЕРЕЗ ВМЕЩАЮЩИЕ ПОРОДЫ**

Наведено технологічні схеми для систем гідравлічних вібраторів, за допомогою яких виконується дія на вугільний пласт через вмещуючі породи. Розглянуто різноманітні конфігурації схем для створення різних частот дії.

## **ELABORATION HYDRAULIC SYSTEMS VIBRATORS FOR INFLUENCE ON COALBED THROUGH HOST ROCKS**

The technological schemes for systems of hydraulic vibrators to perform influence on coal bed through the host rocks. Considered various configurations of schemes to create different frequencies of influence.

При разработке гидравлических схем систем вибраторов было выбрано направление, связанное с использованием гидравлического оборудования, выпускаемого промышленностью СНГ, для добычи угля. Это связано с минимальными затратами и временем, необходимым для изготовления систем гидравлических вибраторов и их отработки.

Рассмотрим несколько схем систем гидравлических вибраторов, включающих гидравлические стойки крепи «Спутник», гидрораспределители ЭРА-1М, маслостанцию СНУ-5 и т.д.

В приведенных гидравлических схемах системы вибраторов содержат: гидравлические стойки со встроенными в них гидрозамками, односторонний гидрозамок М-4 КУ-32/320, серийно выпускаемый Грязинским заводом гидрооборудования, крановый восьмипозиционный девятилинейный распределитель типа ЭРА-1М, в котором подвод жидкости к крану осуществляется по центральному каналу, а отвод к исполнительным механизмам – через одно из восьми периферийных отверстий, подводящие и сливные магистрали. Питаются системы вибраторов от маслостанции СНУ-5.

Рассмотрим принцип работы гидравлической схемы системы вибраторов, представленной на рис. 1.

Золотник гидрораспределителя ЭРА-1М приводится во вращение двигателем с числом оборотов  $\omega = 5$  об/с. В поршневых полостях стоек давление жидкости создается при подаче ее через отверстие *к*, *ж*, *и* гидрораспределителя и рабочие (обратно-разгрузочные) клапаны ЭКОР, размещенные в гидрозамках стоек. При дальнейшем движении золотника подача жидкости в поршневые полости стоек прекращается. Поршневые полости стоек сообщаются с гидрозамком управления гидросхемой через предохранительные клапаны ЭКП, размещенные в гидрозамках стоек. Эти клапаны настроены на 2030 МПа и служат для создания постоянного распора гидростоек.