Лемма 5. При выполнении условий теоремы имеют место оценки:

$$\left\| \mathrm{v}_x(t) \right\|^2 \le K_{10}, \quad \forall t \in [0, T].$$

Доказательство. Следует из представления (8), после дифференцирования его по x.

Проводя аналогичные рассуждения, можно получить все необходимые для доказательства существования обобщенного решения априорные оценки. Единственность решения доказывается составлением однородного уравнения относительно разности двух возможных решений [4]. Теорема доказана.

References

1. *Bai Shi-i*. The magnetic gas dynamics and dynamics of plasma. — M.: Peace, 1964.
2. *Iskenderova J.A.* Local solvability of the degenerating equations of magnetic gas dynamics // News of National Academy of Science of Kyrgyz Republic. — 2001. — № 1–2. — P. 11–17.
3. *Antontsev S.N., Kazhikhov A.V., Monakhov V.N.* Boundary Problems of Heterogeneous Fluid Mechanics. — Novosibirsk: Science, 1983. — P. 319.
4. *Iskenderova J.A., Smagulov Sh.* The Cauchy problem for the equations of a viscous heat-conducting gas with degenerating density // Comput. Maths. and Math. Phys. — 1993. — Vol. 33. — № 8. — P. 1109–1117.

УДК 658.512.012.12:519.24:622.333

Применение методов теории массового обслуживания при исследовании взаимодействия смежных производственных подсистем на горнодобывающих предприятиях

Application of methods of the queuing theory at research of interaction of adjacent industrial subsystems at the mining enterprises

Каренов Р.С.

Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова (E-mail: karenov_r@inbox.ru)

Соңғы уақытта жаппай қызмет көрсету ілімі идеялары мен тәсілдері көптеген қолданбалы салаларда кеңінен таралғаны көрсетілген. Кен өнеркәсібіндегі жаппай қызмет көрсету жүйелерінің қалыптасу шарттары, олардың негізгі элементтері және сипаттамалары қарастырылған. Жаппай қызмет көрсету ілімі тәсілдері көмегімен кен ісіндегі тәжірибелік міндеттерді шешу бойынша әдістемелік басшылық жасауға ұмтылыс жасалған. Пайдалы қазбаларды ашық әдіспен игеру ерекшеліктерінің нақты мысалында жаппай қызмет көрсетудің кейбір жүйелерінің негізгі параметрлерін қалай есептеуге болатындығы көрсетілген. Үлкен жүйелер қасиеттерінің бірі ретіндегі көмір шахтасының өндірістік құрылымын талдау барысында жаппай қызмет көрсету ілімінің математикалық аппаратын қолдана отырып, көмір өндіру кәсіпорынның өндірісітік бөлімшелері арасындағы өзара байланыс зерттелген. Ұсынылған тәсілдер мен есептеулер әдістері Қарағанды бассейні көмір шахталарының жұмыс тәжірибесінен алынған мысалдармен кескінделген.

It is underlined that lately ideas and methods of the queuing theory widely extend in many applied areas. Problems of mining industry which are solved by the queuing theory are revealed. Conditions of formation of queuing systems, their basic elements and characteristics are considered. Creating a methodical management under the decision of practical problems in mining by means of methods of the queuing theory is attempted. On a concrete example of specificity of extraction of a mineral by open way it is shown how to calculate key parameters of some queuing systems. Studying industrial structure of mine as one of properties of the big systems, interdependence between industrial divisions of the coal enterprise with application of mathematical apparatus of the queuing theory is investigated. Offered methods and receptions of calculations are illustrated by the examples taken from practice of work of collieries of the Karaganda pool.

Теория массового обслуживания в последние годы быстро развивается. Расширился круг вопросов, решаемых с помощью ее методов. По мере развития аналитического аппарата теории массового обслуживания выявилось, что постановки задач ее имеют весьма широкий характер, поскольку к ним приводят почти все направления современной практики (транспорт, медицина, экономика, военное дело, промышленность, сельское хозяйство и т.д.). В момент своего рождения и в современных постановках теория массового обслуживания применялась для описания дискретных процессов. Тем интереснее распространение ее методов, доведенных до числовых значений, для описания непрерывного процесса [1–3].

Теория массового обслуживания рассматривает, в частности, вопросы, связанные с возникновением различного рода задержек, устанавливает закономерности, определяющие длительность ожидания (простой оборудования, простои обслуживающего персонала), которые возникают вследствие непредвиденных, т.е. не поддающихся планированию задержек. Методы теории массового обслуживания позволяют оценить потери времени, связанные с этими задержками, и найти условия, сводящие к минимуму простои без нарушения принципа экономичности. В целом теория массового обслуживания занимается классом задач, под которые подходят все производственные или технологические процессы, когда один или несколько механизмов «обслуживают» поступающие в некоторой последовательности в систему обслуживания какие-то объекты. Основными характеристиками функционирования системы являются последовательность поступлений — «поток требований» и время обслуживания. Периоды между поступлениями очередных требований и время обслуживания одного требования подчиняются вероятностным законам [4–6].

В горном деле с помощью теории массового обслуживания могут быть определены: численность бригад (электриков, слесарей, механиков и т.д.), обслуживающих определенное количество производственных объектов; оптимальное соотношение транспортных единиц и горнодобывающих механизмов [7–10].

При открытом способе добычи полезных ископаемых примером может служить задача нахождения оптимального количества автомашин при работе заданного количества экскаваторов. В этом случае имеется вероятностное распределение во времени потока поступления машин, которые «обслуживаются» в течение некоторого времени экскаваторами. Простои могут возникать в связи с изменением состояния дорог, изменением разрабатываемых пород и т.д.

Пусть на карьере имеется m действующих экскаваторов и n автомашин. Среднее время рейса одной автомашины от экскаватора до места разгрузки и обратно равно некоторой величине $\frac{1}{\lambda}$, а среднее время погрузки экскаватором одной машины — $\frac{1}{\nu}$.

Можно допустить, что в этом случае вероятность P_1 того, что машины задержатся и не подойдут к экскаваторам за время t, уменьшается с ростом времени по показательному закону

$$P_1 = e^{-\lambda t}, \tag{1}$$

а вероятность P_2 того, что время погрузки τ будет меньше некоторого наперед заданного значения времени t, подчиняется закону

$$P_2(\tau < t) = 1 - e^{-\nu t}. \tag{2}$$

Дальнейшие рассуждения основываются на этом допущении. Аналитическое исследование такой системы дает следующие выражения для вероятности поступления к экскаваторам k машин:

$$P_k = \frac{n!}{k!(n-k)!}\left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k \cdot P_{0,} \left(1 \le k \le m\right), \tag{3}$$

$$P_k = \frac{n!}{m^{k-m} \cdot m!(n-k)!}\left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^k \cdot P_0, \left(m \angle k \le n\right), \tag{4}$$

где p_0 — вероятность того, что все экскаваторы свободны.

Если законы распределения вероятности (1) и (2) имеют другой вид, то не всегда удается получить сравнительно простые выражения типа (3) и (4). В этих случаях теория массового обслуживания предлагает иные пути анализа системы. В частности, характеристики многих процессов массового обслуживания могут быть получены путем его моделирования на ЭВМ с использованием метода статистических испытаний (метод Монте-Карло).

Теория массового обслуживания позволяет определить такие показатели функционирования системы, как среднее число ожидающих погрузки машин и число простаивающих экскаваторов, коэффициенты простоя оборудования и т.д.

Для рассматриваемого примера разберем частный случай, когда имеется три экскаватора $(m = 3)$, двадцать автомашин $(n = 20)$, среднее время рейса $\frac{1}{\lambda} = 1$ час и среднее время погрузки $\frac{1}{\nu} = 6$ мин $= 0{,}1$ часа.

Используя уравнения (3) и (4), можно определить $\frac{p_k}{p_0}$ для $k = 1, 2, ..., 20.$ Так как

$$\sum_{k=0}^{n} \frac{p_k}{p_0} = \frac{1}{p_0} \sum_{k=0}^{n} P_k = \frac{1}{P_0}, \tag{5}$$

то $p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n} \frac{p_k}{p_0}}$, и отсюда

$$P_k = \frac{p_k}{p_0} \cdot \frac{1}{\sum_{k=0}^{n} \frac{p_k}{p_0}}. \tag{6}$$

Значения $\frac{p_k}{p_0}$ и p_k при k, равном от 0 до 7, для рассматриваемого случая приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расчетная таблица, иллюстрирующая решение задачи нахождения оптимального количества автомашин при работе заданного количества экскаваторов

k	Число машин под погрузкой	Число ожидающих машин	Число свободных экскаваторов	$\frac{p_k}{p_0}$	p_k	$(k-3)\,p_k$
0	0	0	3	1,000	0,136	-
1	1	0	2	2,000	0,272	-
2	2	0	1	1,900	0,259	-
3	3	0	0	1,140	0,155	-
4	3	1	0	0,646	0,088	0,088
5	3	2	0	0,324	0,047	0,093
6	3	3	0	0,172	0,023	0,070
7	3	4	0	0,085	0,011	0,044

Математическое ожидание числа машин, которые ожидают погрузки:

$$M_1 = \sum_{k=4}^{20} (k-3) p_k = 0{,}339. \tag{7}$$

Коэффициент простоя машин в этом случае равен

$$\frac{M_1}{n} = \frac{0{,}339}{20} = 0{,}017. \tag{8}$$

Математическое ожидание числа свободных экскаваторов

$$M_2 = \sum_{k=0}^{m-1} (m-k) p_k = \sum_{k=0}^{2} (3-k)\, p_k, \tag{9}$$

где M_2 — среднее число свободных экскаваторов. Для рассматриваемого примера $M_2 = 1{,}213.$

Коэффициент простоя экскаваторов

$$\frac{M_2}{m} = \frac{1{,}213}{3} = 0{,}404. \tag{10}$$

Задачу можно варьировать, изменяя мощность экскаваторов и грузоподъемность машин (изменение времени погрузки), число машин, форму организации работ и т.д. Просчет показателей, характеризующих каждый из вариантов, позволяет экономически обоснованно выбирать оптимальный вариант.

В зарубежной практике известно использование методов теории массового обслуживания при подземном способе добычи полезных ископаемых для увеличения коэффициента использования различного горношахтного оборудования с целью повышения производительности труда и снижения издержек производства. Для таких расчетов создается математическая модель исследуемого технологического процесса исходя из геологической характеристики месторождения, плана горных работ, числа очистных забоев, количества и типов машин и времени их работы. На основании этих данных определяются оптимальный порядок использования механизмов и рациональное соотношение между числом очистных забоев и количеством машин.

Практика функционирования угледобывающих предприятий Карагандинского бассейна (8 шахт угольного департамента АО «АрселорМиттал Темиртау») показывает, что современная шахта — чрезвычайно сложный объект. Она представляет собой совокупность взаимосвязанных технологических звеньев и производственно-административных участков и отделов: очистных и горнопроходческих забоев, внутришахтного транспорта, подъема, вентиляции, энергоснабжения, водоотлива, технологического комплекса на поверхности, административной и производственно-технологической служб и т.д. Производственные процессы выполняются индивидуальными машинами или установками (водоотлив), совокупностью машин и механизмов (очистные работы), а также сложными взаимосвязанными системами машин, механизмов и людей.

Это говорит о том, что на шахте используются однородные группы элементов, подэлементов, образующие как бы самостоятельные системы: техническую, технологическую, организации производства, экономическую и т.д.

Техническая система состоит из взаимосвязанного комплекса машин, оборудования. Она наименее подвижна, медленнее адаптируется к внешней среде. Изменение технической системы обусловлено научно-техническим прогрессом, с ускорением которого машины и оборудование морально стареют, а также интенсивностью эксплуатации, от которой зависит физический износ. То и другое протекает неравномерно как во времени, так и между различными группами оборудования по процессам. Вследствие этого техническая система нуждается в выравнивании производственных мощностей путем модернизации оборудования, рациональной организации ремонта, снабжения энергией всех видов, быстрого перемещения предметов труда.

Технологическая система выражается в последовательности операций и процессов производства, в ходе которых создается продукция. Она включает в себя контроль за выполнением работы на отдельных операциях. Управление технологической системой сводится к разработке технологии производства с позиций его эффективности.

Система организации производства представляет собой производственные взаимосвязи внутри системы машин и кооперации труда. Она позволяет рационально использовать в совокупности труд, оборудование, предметы труда, производственные площади, создает условия для нормального протекания производственного процесса наиболее прогрессивными приемами и методами с наименьшими затратами.

Экономическая система выражает собой единство экономических процессов и экономических связей всех сторон производства. Она решает задачу наиболее полного использования возможностей всех систем производства для повышения его экономической эффективности.

Перечисленные системы взаимосвязаны и взаимообусловлены между собой и в единстве составляют предприятие как производственную систему, к которой относится и угольная шахта [11–14].

На самом деле, на шахте производственные подсистемы «очистные работы $\rightarrow$ подземный транспорт $\rightarrow$ подъем $\rightarrow$ технологический комплекс на поверхности» тесно взаимосвязаны. От пропускной способности последующей подсистемы зависит работа предыдущей. В этой последовательности каждую смежную пару можно считать системой массового обслуживания (СМО). Всего на шахте таких систем три пары: очистной забой (погрузочный пункт) $\rightarrow$ подземный транспорт (электровоз); электровозы $\rightarrow$ подъем (околоствольный двор); подъем $\rightarrow$ технологический комплекс на поверхности.

На примере первой пары рассмотрим методы отыскания основных характеристик для оценки процесса функционирования обслуживающей и обслуживаемой систем. За входящий поток требований принимаем прибытие электровозов к погрузочным пунктам лав. Число электровозов, поступающих к лавам в единицу времени, — величина случайная, для полной характеристики которой нужно знать ее закон распределения. Допускается, что данный поток простейший, так как он имеет три свойства:

- стационарность (при условии выполнения ритмичности погрузки среднее число требуемых электровозов в единицу времени постоянно);
- отсутствие последействия, т.е. число электровозов, поступающих в некоторый промежуток времени, не зависит от числа электровозов, обслуженных в предыдущем промежутке;
- ординарность, т.е. в данный момент под погрузку не может быть поставлено более одного электровоза.

Следовательно, поток требований подчиняется пуассоновскому закону распределения, т.е.

$$P_k(t) = e^{-\lambda t}\frac{(\lambda t)^k}{k!}, \tag{11}$$

где $P_k(t)$ — вероятность того, что в обслуживаемую систему, т.е. к очистному забою, за время t прибывает k электровозов. Среднее число электровозов, поступающих под погрузку за время t, определяется как математическое ожидание

$$M[k(t)] = \lambda t, \tag{12}$$

где λ — среднее число электровозов, поступающих в единицу времени под погрузку, оно характеризует интенсивность потока.

Промежуток времени между поступлением электровозов под погрузку тоже случайная величина. Она подчиняется интегральному показательному закону распределения

$$F(\mathrm{t}) = \mathrm{P}\left\{\mathrm{T}_{\text{пром}} \le t\right\} = 1 - e^{-\lambda t}, \tag{13}$$

а плотность распределения промежутков

$$f(\mathrm{t}) = \lambda \mathrm{e}^{-\lambda \mathrm{t}}, \tag{14}$$

где $T_{\text{пром}}$ — длительность промежутка между двумя требованиями.

Как показывает анализ, время обслуживания одного электровоза погрузочным пунктом на угольной шахте меняет свои значения тоже в значительных пределах. При простейшем потоке требований и показательном распределении времени обслуживания имеем

$$F(t) = P\left\{T_{\text{обсл}} \le t\right\} = 1 - e^{-\nu t},$$
$$\mathrm{f}(t) = \nu e^{-\nu t}, \tag{15}$$

где ν — параметр времени обслуживания.

При этом среднее время загрузки одного состава под лавой равно математическому ожиданию

$$M[T_{\text{обсл}}] = \frac{1}{\nu}. \tag{16}$$

Из сопоставления закона распределения времени поступления электровозов под лавы с законом распределения времени обслуживания состава видим, что величина $\frac{\lambda}{\nu} = \lambda \cdot \frac{1}{\nu}$ означает количество электровозосоставов, поступающих под лаву в течение времени загрузки одного, находящегося под погрузкой.

В изучаемой нами системе массового обслуживания «погрузочный пункт лавы, из которого загружается уголь в вагонетки, и электровоз, транспортирующий его от лавы до стволов», участвует r очистных забоев и n электровозов. Считаем, что интенсивность потока электровозосоставов и время погрузки угля под лавами пропорциональны числу электровозов n и погрузочных пунктов r.

Учитывая, что число погрузочных пунктов лав и электровозосоставов ограниченное и определенное в течение изучаемого времени, систему можно рассматривать как замкнутую систему массового обслуживания с ограниченным потоком требования и использовать соответствующий математический аппарат для отыскания таких параметров, как длина очереди, время ожидания и др., характеризующих функционирование смежных подсистем шахты.

В исследуемой СМО, если погрузочные пункты заняты, то электровозосостав будет простаивать. Пусть λ — интенсивность потока электровозосоставов под погрузку к одному погрузочному пункту,

$\frac{1}{\nu}$ — среднее время загрузки под лавой одного состава, тогда ε — вероятность различных состояний системы будет определяться следующим образом. *Пример:* P_k — вероятность одновременного пребывания под погрузкой k электровозосоставов из n возможных, P_0 — вероятность того, что под погрузкой в данный момент времени не находится ни одного состава.

1. $k \le r\left(k = 0,\ 1,\ 2...,\ \mathrm{r}\right)$. При этом условии, если электровоз прибыл под лаву, погрузочный пункт свободен и имеется загруженный состав, то он немедленно обменивает порожний состав на груженый и отбывает.

Из теории массового обслуживания для $k \le r$ справедливы следующие соотношения:

$$P_1 = n \cdot P_0 \cdot \frac{\lambda}{\nu},$$

$$P_2 = \frac{n-1}{2} P_1 \cdot \frac{\lambda}{\nu},$$

$$P_r = \frac{n-(\mathrm{r}\text{-}1)}{\mathrm{r}} P_{r-1} \frac{\lambda}{\nu}. \tag{17}$$

2. $k > r\left(k = r+1,\ \mathrm{r}+2,\ ...,\ \mathrm{n}\right)$. При этом электровозосостав застает погрузочные пункты занятыми и становится в очередь. Соответствующие вероятности выражаются формулами:

$$P_{r+1} = (n-r)P_r \cdot \frac{\lambda}{\nu r},$$

$$P_{r+2} = [n-\left(r+1\right)P_{r+1} \cdot \frac{\lambda}{\nu r},$$

$$P_n = [n-\left(n-1\right)]P_{n-1} \cdot \frac{\lambda}{\nu r}. \tag{18}$$

Подставляя значения P_1 в P_2, а P_2 в P_3 и т.д., получим выражение для всех P_k через P_0:
для $k \le r$:

$$P_1 = n \cdot P_0 \cdot \frac{\lambda}{\nu},$$

$$P_2 = \frac{n-\left(n-1\right)}{2!} P_0 \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^2,$$

$$P_3 = \frac{n\left(n-1\right)\left(n-2\right)}{3!} P_0 \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^3, \tag{19}$$

$$P_r = \frac{n\left(n-1\right)\left(n-2\right)...[n-\left(r-1\right)]}{r!} P_0 \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^r;$$

для $k > r$:

$$P_{r+1} = \frac{n\left(n-1\right)...\left(n-r\right)}{r!} P_0 \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^r \frac{\lambda}{\nu r},$$

$$P_{r+2} = \frac{n\left(n-1\right)...\left[n-\left(r+1\right)\right]}{r!} P_0 \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^r \cdot \left(\frac{\lambda}{\nu r}\right)^2, \tag{20}$$

$$P_n = \frac{n!}{r!} P_0 \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)^r \cdot \left(\frac{\lambda}{\nu r}\right)^{n-r}.$$

Известно, что $\sum\limits_{k=0}^{n} P_k = 1$. Из этого равенства можно найти P_0, а затем, подставляя P_0 в выражения $P_1, P_2, ..., P_n$, — все вероятности $P_k\left(k = 1, 2, ..., n\right)$. Зная P_k, можно вычислить нужные нам вероятностные характеристики изучаемой подсистемы. Обозначим через c среднее число электровозосоставов, находящихся под лавами и ожидающих очереди. Оно равно математическому ожиданию случайной величины k, т.е.

$$a = M(k) = \sum_{k=0}^{n} k \cdot P_k. \tag{21}$$

Тогда $\alpha = \dfrac{a}{n}$ есть коэффициент простоя одного электровоза в связи с пребыванием под погрузкой и ее ожиданием. Вероятность того, что электровозам придется ожидать погрузки, т.е. все погрузочные пункты заняты, равна

$$\Pi = \sum_{k=r}^{n} P_k. \tag{22}$$

Среднее число электровозов, ожидающих очереди, определяется как математическое ожидание величин $(k-r)$, т.е.

$$b = M(k-r) = \sum_{k=r}^{n} (k-r) P_k, \tag{23}$$

и представляет собой длину очереди.

Коэффициент простоя электровозов в ожидании погрузки определяется как отношение средней длины очереди к числу обслуживаемых электровозосоставов, т.е.

$$\beta = \frac{b}{n}. \tag{24}$$

Среднее время ожидания $T_{ожид}$ определяется путем умножения среднего числа электровозов, ожидающих обслуживания, на средний промежуток времени между поступлением требований от обслуживаемой системы, т.е.

$$T_{ожид} = b \cdot \frac{1}{n\lambda}. \tag{25}$$

Среднее число свободных погрузочных пунктов равно

$$c = M(r-k) = \sum_{k=0}^{r} (r-k) P_k. \tag{26}$$

Коэффициент простоя очистного забоя будет

$$\mu = \frac{c}{r}. \tag{27}$$

В результате решения системы уравнений выясняются длина очереди (b), коэффициент простоя элементов обслуживающей системы (p), среднее время ожидания обслуживания $T_{ожид}$ и коэффициент простоя обслуживающей системы (μ).

Полученные данные позволяют дать оценку взаимодействия обслуживаемой и обслуживающей систем.

Изучение взаимодействия подсистем угольной шахты «очистные работы $\rightarrow$ подземный транспорт $\rightarrow$ подъем угля $\rightarrow$ техкомплекс на поверхности» с помощью теории массового обслуживания предполагает наличие таких исходных данных, процесс получения которых дает сведения, позволяющие судить о качественном состоянии взаимодействия и производственных возможностях каждого звена или подсистемы.

Исследование обслуживания начинается с изучения входящего потока. Входящим потоком называются требования, поступающие в обслуживаемую систему. Например, на первом этапе исследования взаимодействия смежных подсистем «очистной забой $\rightarrow$ транспорт» входящий поток для обслуживающей системы — это количество добываемого в лавах угля, которое необходимо вывезти электровозам от лавы до околоствольного двора.

Число требований, поступающих в единицу времени, рассматривается как случайная величина и устанавливается статистически.

Поток требований в системе массового обслуживания можно устанавливать, наблюдая либо за частотой поступления требований в обслуживающую систему, либо за временем, свободным от требований.

Для наших целей поток требований целесообразно определить на основе наблюдений за частотой их поступления от обслуживаемой системы в обслуживающую. Лучшим методом данного определения являются хронометражные наблюдения за временем, достаточным для выявления интересующих нас закономерностей. Однако возможности для проведения хронометражных наблюдений не всегда имеются, а потребность взаимоувязки смежных производственных звеньев и подсистем возникает не реже одного раза в год. Это обусловлено тем, что совершенствование технологии, организации и внедрение более совершенной производительной техники происходят неравномерно (неодновременно) по всем звеньям и подсистемам. Например, в настоящее время в угольной промышленности наиболее высокими темпами совершенствуются техника и технология на очистных работах, медленнее — на транспорте, и значительное время почти не изменяются ни технологические, ни технические условия обмена порожних вагонов на груженые в околоствольных дворах шахт, при подъеме угля и породы на поверхность, при транспортировке угля от ствола в бункер или на склад.

Неравномерность технического прогресса по производственным подсистемам, выполняющим общую цель — добычу и отгрузку угля, приводит к диспропорциям.

Итак, хронометражные наблюдения, которые в настоящее время носят эпизодический характер, недостаточны для получения нужной нам информации, хотя полностью исключить их нельзя, особенно при анализе данных о частоте поступления требований и количественной оценке взаимодействия с помощью СМО.

Мы предлагаем изучать поток требований на основе существующего на шахте учета добычи угля в течение смены по каждой лаве. Объем добычи угля на шахте и по лавам за каждый час работы отражен в книгах наряда или учета добычи. Эти данные используются для оперативного контроля за ходом производства, поэтому в них отражены зачастую причины простоев как шахты в целом, так и ее звеньев, подсистем.

В заключение хотелось бы более подробно остановиться на следующей тенденции развития подземного транспорта на предприятиях по добыче угля.

Как известно, системы подземного транспорта угольных шахт характеризуются значительной протяженностью и разнообразием оборудования. Они существуют без особых изменений техники и технологии на протяжении 10 лет и более, чем определяется консерватизм таких систем, т. е. большая зависимость их состояния от процессов, происходящих в предшествующие периоды. Это в меньшей степени существенно для очистных или подготовительных работ, поскольку переход в новый забой позволяет изменить технику и технологию их ведения. Без ретроспективного анализа невозможно объективно оценить основные тенденции развития подземного транспорта. Для выполнения анализа необходимо выбрать соответствующие показатели, которые должны быть линейно независимыми один от другого, что минимизирует их число, и определяться по принятым в угольной промышленности формам статистической отчетности; характеризовать наиболее существенные параметры транспортной системы; давать интегральную оценку не отдельным элементам, а системе в целом. Состав и характер этих показателей будут зависеть от того, рассматривается ли отдельная шахта или группа шахт, входящих в регион (бассейн).

При оценке эффективности мероприятий по совершенствованию подземного транспорта отдельной шахты, как правило, учитываются приведенные и капитальные затраты, сокращение штата обслуживающего персонала, повышение пропускной способности отдельных транспортных звеньев, снижение аварийности и потерь добычи. При рассмотрении общих тенденций в развитии подземного транспорта шахт региона (бассейна) такие показатели неприемлемы из-за сложности их определения и малой достоверности. В этом случае наиболее представительным является показатель трудоемкости, который при довольно высокой достоверности дает интегральную оценку степени совершенствования систем подземного транспорта и эффективности проводимой технической политики.

Практика работы шахт угольного департамента АО «АрселорМиттал Темиртау» показывает, что в последние годы, по мере углубления разработок, происходили деконцентрация горных работ, снижение нагрузок на шахту, транспортные магистрали и узлы, на очистной забой. Этим отрицательным тенденциям были противопоставлены чисто транспортные факторы: рост конвейеризации горизонтальных и наклонных выработок, повышение технологического и организационного уровней транспорта, техническое перевооружение локомотивной откатки.

Как показывают прогнозные расчеты с применением математического аппарата теории массового обслуживания, в будущем должно уменьшиться значение конвейеризации. На наклонных выработках она приближается к пределу насыщения, а на горизонтальных ее эффективность уменьшается из-за низкой концентрации горных работ и связанной с этим малой нагрузки на транспортные магистрали. Особое внимание нужно уделить повышению производительности электровозов. Наибольшие ее потери связаны с нерациональным путевым развитием и простаиванием электровозов перед однопутевыми участками, с плохой организацией локомотивной откатки.

Обобщая сказанное выше, можно отметить, что в ожидаемой перспективе на шахтах Карагандинского бассейна основные резервы снижения трудоемкости подземного транспорта все-таки заключены в совершенствовании технологии и организации его работы, в первую очередь локомотивной откатки.

References

1. *Labeker L.G., Babeshko L.O.* The queuing theory in economic sphere: the Manual. — M.: Banks and stock exchanges, UNITI, 1998. — 319 p.
2. *Novikov O.A., Petukhov S.I.* Cocks of SI. Applied questions of the queuing theory. — M.: Soviet radio, 1969. — 400 p.
3. *Saati T.L.* Element of the queueing theory and its applications. — M.: Soviet radio, 1965. — 511 p.
4. *Chetyrkin E.M.* The queueing theory and its application in economy. — M.: Statistics, 1971. — 104 p.
5. *Aldokhin L.P.* The queueing theory in the industry. — M.: Economy, 1970. — 207 p.
6. *Ivchenko G.I., Kashtanov V.A., Kovalenko I.N.* The queuing theory. — M.: Higher school, 1982. — 256 p.
7. *Lukin A.I.* Queueing systems. — M.: Military publishing house, 1980. — 189 p.
8. *Gnedenko B.V., Kovalenko I.N.* Introduction in the queuing theory. — M.: Science. The main edition of the physical and mathematical literature, 1966. — 432 p.
9. *Astashkin N.V.* Application of probabilistic queuing systems in mining. — M.: Bowels, 1971. — 160 p.
10. *Shulga J.N., Suslov O. P., Anokhin B.C.* Application of methods of the queuing theory at research of processes of extraction and coal transportation. — M.: Bowels, 1971. — 160 p.
11. *Kosmambetova R.I., Fedorova E.M.* Perfection of industrial structure of collieries. — Alma-Ata: Science of KazSSR, 1976. — 192 p.
12. *Karenov R.S.* Modeling and forecasting of efficiency of mountain manufacture in market conditions. — Karaganda: IPZ "Professional formation", 2006. — 280 p.
13. *Karenov R.S.* Formation of the market of a mineralno-source of raw materials of Kazakhstan. — Karaganda: IPZ "Professional formation", 2008. — 276 p.
14. *Karenov R.S.* Priorities of strategy of industrially-innovative development and mining the industries of Kazakhstan. — Astana: Publishing house KazUeFmT, 2010. — 539 p.

УДК 517.5

Восстановление решения уравнения Пуассона на классе Коробова

Restoration of solution of Poisson's equation on Korobov's class

Кудайбергенов С.С., Сабитова С.Г.

Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауезова, Шымкент (E-mail: svetamath88@mail.ru)

Пуассон теңдеуінің қатар түрінде берілген шешімінің қалыпқа келтіруі мәселесі қарастырылған. Теңдеудің оң жағы Коробов класына жатқан жағдайда қалыпқа келтірудің қателігінің дәрежелік шкалада нақты бағалануы алынған. Осындай есепті Е.Баилов пен Н.Темірғалиев қарастырған. Қалыпқа келтіру операторын құру үшін Шерниязовтың әдісі және Смоляктың түйіндері қолданылды. Алынған нәтиже Е.Баилов пен Н.Темірғалиевтің нәтижесімен сәйкес келеді, бірақ ұсынылған оператор қарапайым және ЭЕМ-де есептеу үшін ыңғайлы болып табылады.

The problem of restoration of solution of Poisson's equation represented as a series is considered. In case of the right part of equation belongs to Korobov's class the exact in power-mode scale estimation of inaccuracy of the restoration is received. For creating the operator of restoration the method of Sherniyazov and points of Smolyak are used. Received result coincides with result of E.Bailov, N.Temirgaliev but offered operator distinguishes oneself by simplicity and it is suitable for calculations on computer.

Постановка задачи и формулировка основных результатов

Сформулируем общую постановку задачи восстановления.

Пусть даны два нормированных пространства X и Y числовых функций, определённых соответственно на множествах Ω и Ω_1. Пусть $F \subset X$ и $Tf = u(y; f)$ есть отображение F в Y.