

*Докт. техн. наук, профессор Бабиюк Г.В.
канд. техн. наук Смекалин Е.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ПОКАЗАТЕЛИ ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ КАК СЛУЧАЙНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

На підставі дослідження діяльності прохідницьких бригад ДП «Свердловантрацит» обґрунтована необхідність та наведені теоретичні засади описування показників гірничопрохідницьких робіт як випадкових величин.

Рассматривая горнопроходческие работы (ГПР) как организационно-технологическую систему, функционирующую в изменчивых и неопределенных условиях [1], установлено, что производственная деятельность проходческих бригад характеризуется совокупностью случайных величин, изменяющихся во времени. Основными причинами изменчивости показателей при сооружении горных выработок являются:

- вероятностная сущность организационно-технологических взаимосвязей и многовариантность информационно-материальных отношений, в которые вступают при сооружении выработок субъекты горностроительной системы на всех уровнях производственной иерархии;

- отсутствие информации о многих влияющих факторах из-за незнания и случайного распределения свойств массива горных пород, что ведет к искажению данных о производительности оборудования и выработке рабочих в конкретных условиях;

- недостаточность навыков у инженерно-технических работников для выбора и использования методов принятия и реализации многовариантных решений при производстве горнопроходческих работ в условиях перехода от экстенсивных к интенсивным способам хозяйствования;

- ограниченность возможностей в сборе, хранении и переработке информации об изменчивых свойствах горных пород по трассе сооружения выработки, в том числе в результате ведения горных работ;

- непредсказуемость геомеханических процессов и явлений при проведении выработок, проявляющихся зачастую в виде стихийных бедствий (прорывов воды, горных ударов, внезапных выбросов пород и газа, вывалов и пр.), которые оказывают серьезное отрицательное влияние на результаты производственной деятельности и являются источником непредвиденных затрат;

- соподчиненная роль ГПР по отношению к более общей цели (добыче полезного ископаемого), что выражается в наличии противоборствующих тенденций и даже конкуренции со стороны других производственных участков, и, в первую очередь, ведущих очистные работы;

- недостаточность материальных, трудовых и финансовых ресурсов или несвоевременность обеспечения ими;

- несбалансированность хозяйственного механизма (планирования, ценообразования, материально-технического снабжения, финансово-кредитных взаимоотношений) на уровне вышестоящей производственно-хозяйственной системы, что ведет к появлению целевой неопределенности;

- неустойчивость социально-экономических взаимоотношений в стране, что проявляется в отсутствии заинтересованности в результатах своего труда, различии социально-психологических установок и стереотипов поведения при выполнении производственных заданий.

В подобных изменчивых и во многом неопределенных производственных условиях эффективность горнопроходческих работ и связанных с ними процессов подземной разработки месторождений полезных ископаемых в значительной степени зависит от того, насколько правильно учтены случайные факторы при определении показателей ГПР. Изменчивые свойства массива горных пород и вероятностная сущность организационно-технологических взаимосвязей приводят к тому, что показатели, с помощью которых оценивается эффективность деятельности проходческих бригад, принимают случайные значения, поэтому должны определяться как случайные величины с использованием вероятностно-статистических методов. Вместе с тем, деятельность проходческих бригад в рамках отдельных видов выработок и типов технологических схем отличается определенной общностью и поэтому показатели ГПР, наряду с явным проявлением вероятностного характера оценок, обладают в той или иной степени свойствами функциональных зависимостей, исследуемых методами теории случайных функций [2].

Вероятностно-статистические модели при рассмотрении технологии проведения горных выработок впервые использованы в работе [3], в которой случайность при определении надежности отдельных горнопроходческих процессов предлагалось учитывать с помощью коэффициента готовности, применяемого обычно для оценки вероятности функционирования восстанавливаемых систем [4]. В ИГД им. А.А. Скочинского данный подход расширен на механизированные процессы, выполняемые с помощью нескольких параллельно или последовательно работающих механизмов [5]. Однако, при этом не учитываются отдельные внутризобойные и полностью отсутствуют внезобойные факторы.

Анализируя причины простоев проходческих забоев, автор работы [6] показал, что эффективность их функционирования зависит не только от надежности техники, но и от целого ряда других случайных факторов. Однако, не смотря на это, В.В. Першин, основываясь на [5], в первую очередь принимает во внимание показатели надежности проходческих машин, а вероятностную сущность процесса подвигания забоя выработки учитывает лишь за счет случайных значений коэффициента использования шпура в каждом проходческом цикле.

Такой упрощенный подход к расчету показателей не учитывает присущие сложным системам параметрические отказы, которые увеличивают продолжительность работ, а следовательно снижают производительность труда проходчиков. Поэтому при разработке вероятностно-статистических моделей для определения параметров ГПР более логичным является допущение, что отказ горностроительной системы заключается не в прекращении подвигания забоя, а в реализации случайного события, обусловленного выходом показателей эффективности за нижний предел, и связанным с этим частичным (или полным) невыполнением поставленной задачи [7].

Вероятностная сущность показателей горнопроходческих работ демонстрируется на примере анализа статистических данных о деятельности проходческих бригад в ГП «Свердловантрацит». Анализировались показатели на двух уровнях производственной иерархии: строительства отдельной выработки как совокупности действий всех участников объектной горностроительной системы, направленных на проектирование, создание и использование объекта в соответствии с поставленной целью; комплексного технологического процесса проведения выработки, представляющего собой совокупность действий рабочих в проходческом забое, выполняемых в определенной последовательности с помощью оборудования или вручную с целью преобразования исходных материалов в готовую продукцию (метры выработки постоянного сечения или кубические метры камеры). В состав показателей входили: V_c – среднемесячная скорость строительства выработки, м/мес.; V_{np} – месячные темпы подвигания проходческого забоя, м/мес.; $n_{бр}$ – явочная численность проходческих бригад, чел.; P – производительность труда проходчиков, м/чел.-мес.; k_{pe} – коэффициент использования рабочего времени.

Предполагая, что продолжительность строительства выработки состоит из последовательных периодов времени на выполнение подготовительно-заключительных работ $T_{н.з}$, монтаж-демонтаж оборудования $T_{м.д}$, сооружение технологического отхода $T_{м.о}$, проведение основной части выработки T_{np} и случайных потерь рабочего времени по различным причинам на уровне производственного процесса сооружения вы-

работки T_{nom}^c , скорость строительства выработки через месячные темпы подвигания забоя можно выразить следующим образом:

$$V_c = V_{np} \cdot \frac{L_6}{(L_6 - L_{m.o}) + V_{np}(T_{n.з} + T_{m.o} + T_{m.д} + T_{nom}^c)}, \quad (1)$$

где L_6 и $L_{m.o}$ – протяженность всей выработки и ее технологической части, предназначенной для монтажа оборудования;

V_{np} – скорость проведения протяженной части выработки или, иными словами, месячные темпы подвигания забоя.

Анализируя (1), можно отметить, что дробь представляет собой безразмерный множитель, который демонстрирует различие между скоростями сооружения и проведения выработки. Его величина меньше единицы, в первую очередь, за счет случайных потерь рабочего времени T_{nom}^c , что следует учитывать при составлении планов развития горных работ.

Наиболее значимое влияние на срок сооружения выработки оказывают продолжительность проведения ее протяженной части T_{np} , которая при циклической технологии равна сумме продолжительностей отдельных проходческих циклов: $T_{np} = \sum_{\alpha=1}^{n_u} T_u$, где T_u – отрезок времени

от начала выполнения одного из процессов цикла до его возобновления, после того, как все процессы будут закончены, определяемый как сумма продолжительностей несовмещенных частей механизированных и ручных процессов, технологических перерывов и потерь рабочего времени на уровне комплексного процесса:

$$T_u = \sum_{i=1}^n (T_{m_i} + T_{p_i})(1 - k_{c_i}) + T_{m_n} + \sum_{j=1}^m T_{n_j}, \quad (2)$$

здесь T_{m_i} и T_{p_i} – случайные продолжительности машинных и ручных нормируемых процессов;

k_{c_i} – коэффициент совмещения во времени i -го процесса;

T_{m_n} – продолжительность регламентированных технологических перерывов;

T_{n_j} – случайные потери рабочего времени по j -й причине на уровне проходческого цикла;

m – число потерь рабочего времени;

n – число процессов проходческого цикла.

С учетом выражения (2) месячные темпы проведения выработки выражаются через длину заходки $l_{зах}$ и число циклов в месяц $n_{ц}$ следующей зависимостью:

$$V_{np} = n_{ц} \cdot l_{зах} = \frac{l_{зах} \cdot T_{см} \cdot k_{см} \cdot k_{дн}}{\sum_{i=1}^n (1 - k_{c_i})(T_{M_i} + T_{P_i}) + T_{m_n} + \sum_{j=1}^m T_{n_j}}, \quad (3)$$

где $T_{см}$ – продолжительность смены;

$k_{см}, k_{дн}$ – число рабочих смен в сутках и рабочих дней в месяце;

$l_{зах}$ – длина заходки, определяемая при буровзрывной технологии через длину шпура $l_{шп}$ и равная шагу крепи $l_{зах} = l_{кр}$ при комбайновой технологии.

Из уравнения (3) следует, что скорость проведения выработки V_{np} есть случайная величина, ввиду того, что составляющие ее параметры являются случайными. Так, например, длина заходки при буровзрывной технологии, равная $l_{зах} = l_{шп} \cdot \eta$, случайна, ибо при каждом взрыве случайные значения принимает коэффициент использования шпура η (к.и.ш.), математическое ожидание которого можно выразить следующими образом:

$$M(\eta) = \left(\sum_{\alpha=1}^{n_{ц}} \eta_{\alpha} \right) / n_{ц}. \quad (4)$$

Продолжительность проходческого цикла также является случайной величиной, так как составляющие ее параметры в своем большинстве случайны. Так, продолжительности проходческих процессов (T_m и T_p) случайны ввиду изменчивости свойств горных пород, отказов оборудования и прочих факторов, а потери рабочего времени, включающие простои, посторонние и непроизводительные работы, могут быть или не быть, поэтому случайны по своей сути. Следовательно, математическое ожидание продолжительности цикла можно определить по формуле:

$$M(T_{ц}) = \left(\sum_{\alpha=1}^{n_{ц}} T_{ц_{\alpha}} \right) / n_{ц}. \quad (5)$$

Еще больше случайность проявляется при определении производительности труда рабочих, которая на шахтах называется комплексной выработкой и определяется из выражения:

$$P = \frac{M(l_{зах}) \cdot M(n_{ц})}{n_{36}}, \quad (6)$$

где $M(l_{зак}) = l_{ин} \cdot M(\eta)$ – математическое ожидание подвигания забоя за один цикл;

$M(n_y) = T_{см} / M(T_y)$ – математическое ожидание числа циклов в смену;

$n_{зб}$ – явочная численность проходческого звена, также являющаяся случайной величиной.

Коэффициент использования рабочего времени $k_{p.в}$ использовался для анализа потерь рабочего времени и эффективности деятельности проходческих бригад. Он представляет собой показатель, равный, по своей сути, вероятности выполнения в текущий момент времени в нормативном режиме работ, предусмотренных проектом, и определяемый по формуле:

$$k_{p.в} = \frac{\overline{T}_n}{\overline{T}_n + \overline{T}_n} = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^{\eta} k_{n_j}} \quad (7)$$

где $k_{p.в}$ – коэффициент использования рабочего времени; если $T_n = 0$, то $k_{p.в} = 1$, с ростом потерь он стремится к нулю;

\overline{T}_n и \overline{T}_n – соответственно средние величины нормативных затрат и потерь рабочего времени за достаточно продолжительный период;

k_{n_j} – коэффициент, характеризующий долю j -го вида потерь рабочего времени.

Для определения показателей на уровне комплексного процесса из статистических выборок были удалены наблюдения, соответствующие месяцам, когда выполнялись подготовительно-заключительные работы, сооружался технологический отход, монтировалось или демонтировалось оборудование. С этой целью результаты работы проходческих бригад представлялись в виде графического распределения показателей по месяцам, пример которого приведен на рис. 1 для 3-й схемы (буропогрузочная машина 2ПНБ-2Б), которая применялась при проведении конвейерных уклонов № 108 и № 112 на шахте "Должанская-Капитальная". Как следует из рис. 1 переход бригады из уклона №108 в уклон №112 произошел в январе-феврале 2005 года, чем и объясняется резкое снижение скорости проходки. Поэтому показатели работы бригады за эти месяцы не следует учитывать в выборках на уровне комплексного процесса, т.е. при определении скорости проведения выработки.

Примеры эмпирических и теоретических распределений показателей даны на рис. 2 и рис. 3 для наиболее общих выборок путем сравнения случайных величин на уровне производственного и комплексного процессов, причем для коэффициента использования рабочего времени, кроме нормального (H) и гамма (Γ) распределений, приведены кривые бета (B) распределения.

Данные обрабатывались с использованием ЭВМ. Методика, кроме расчета статистических характеристик, предусматривала подбор интервалов для группированного вариантного ряда, построение гистограммы и теоретических распределений случайной величины, которые сравнивались с эмпирическими с помощью критериев согласия при уровне значимости $\alpha=0,05$. Особенность расчета состояла в использовании при проверке гипотез о распределении случайной величины, кроме критерия Пирсона χ^2_α , критерия согласия Колмогорова $\lambda_{кр}$.

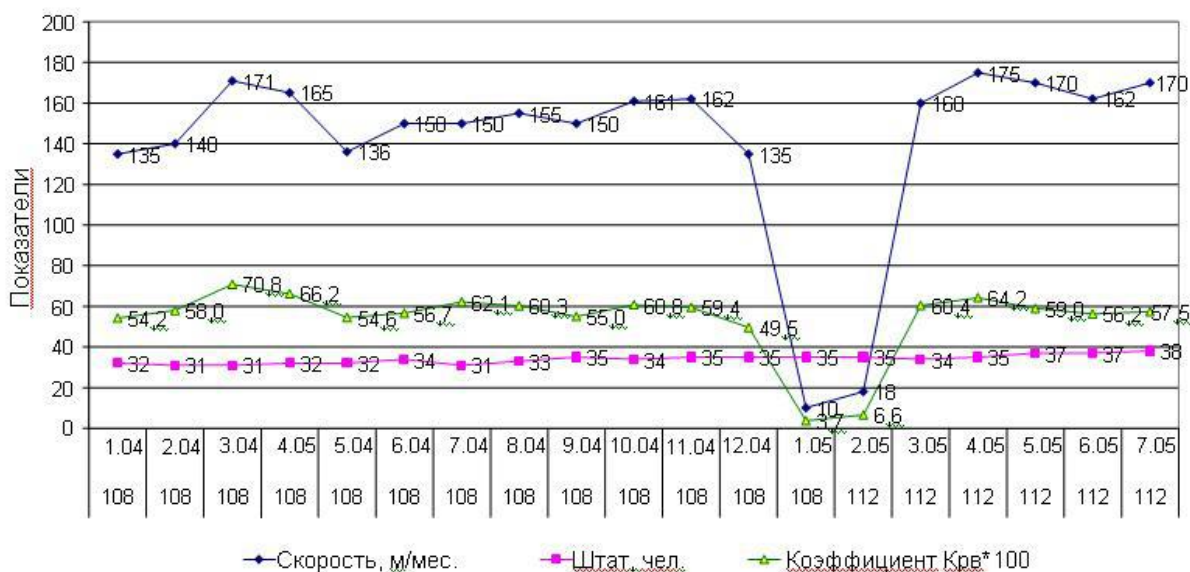


Рисунок 1 – Распределение месячных показателей при проведении конвейерных уклонов 108 и 112 бригадой Стеклянного (схема 3) на шахте "Должанская-Капитальная"

Анализ результатов позволяет отметить, что на уровне производственного процесса распределения коэффициента рациональности использования рабочего времени $k_{p.v}$ и фактической скорости строительства выработки V_c соответствует гамма-закону. Только в отдельных случаях для объединенных выборок с большим числом наблюдений с эмпирическим распределением не согласуется ни один закон, что объясняется неоднородностью объединенных выборок. Данный вывод хорошо согласуется с сущностью гамма-закона, который включает в себя как частные случаи экспоненциальный и нормальный законы. Действительно, если доля нормативных затрат времени при сооружении выработки много меньше его потерь ($T_{np} \ll T_{ном}$), то эмпирическое распределение приближается к экспоненциальному закону. С ростом параметра формы η гамма распределение стремится к усеченному слева нормаль-

ному закону, который теоретически соответствует случаю отсутствия потерь рабочего времени ($\sum T_{\text{пот}} = 0$).

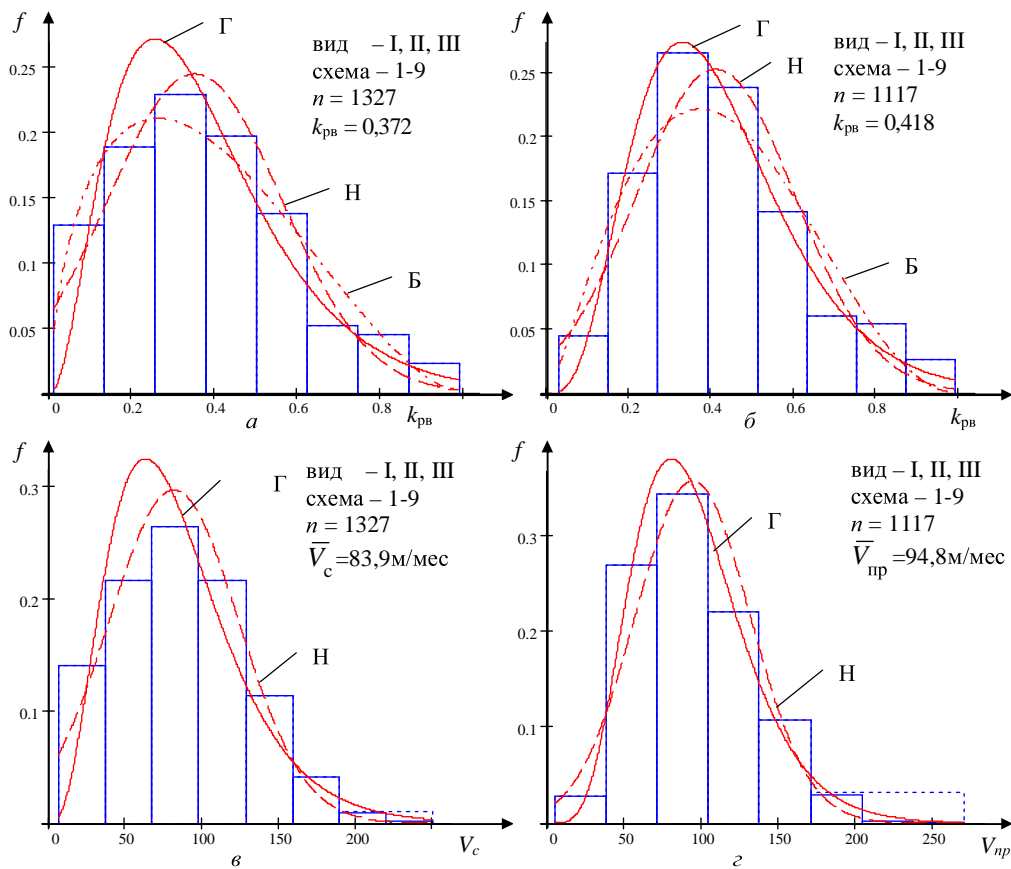


Рисунок 2 – Гистограммы и теоретические нормальные (Н), гамма (Г) и бета (Б) распределения для коэффициента использования рабочего времени $k_{p.v.}$ и скорости сооружения V_c (проведения – V_{np}) на уровнях производственного (а, в) и комплексного (б, г) процессов

Внешний вид эмпирических распределений для скорости строительства выработок и соответствующих им значений коэффициента использования рабочего времени (рис. 2) практически одинаков для всех видов выработок и технологических схем, так как все гистограммы имеют правостороннюю асимметрию, обусловленную значительной величиной потерь рабочего времени. Средняя скорость строительства выработок в ГП "Свердловантрацит" составила $\bar{V}_c = 83,9$ м/мес с коэффициентом вариации $k_{c.v.} = 0,51$, при этом среднее значение коэффициента $k_{p.v.} = 0,372$. Исключение составляет лишь 9-я технологическая схема, соответствующая проведению штреков вслед за лавой, для которой $\bar{V}_c = 71$ м/мес при $k_{p.v.} = 0,596$. В

этом случае вершина функции с максимальной вероятностью (мода) переместилась вправо, а распределение приобрело левостороннюю асимметрию и лучше описывается бета-законом.

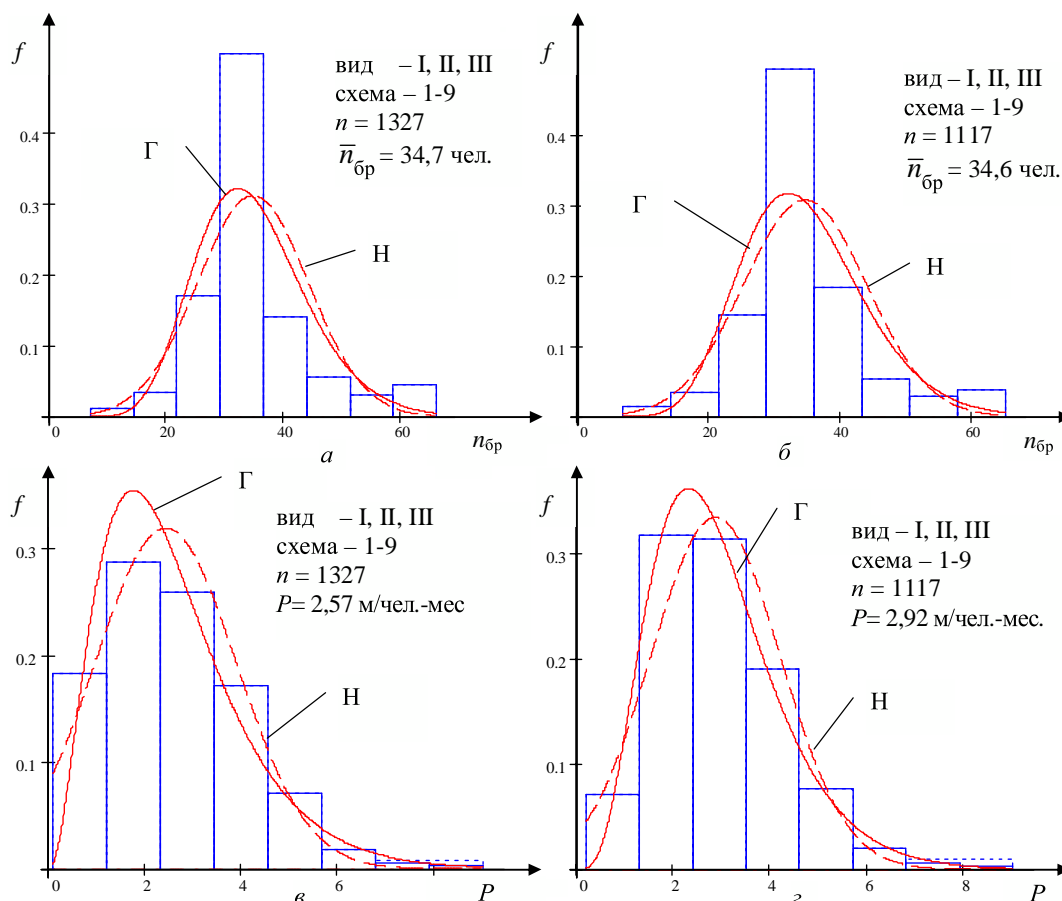


Рисунок 3 – Гистограммы и теоретические нормальные (Н) и гамма (Г) распределения для численности проходческих бригад $n_{бр}$ и производительности труда P на уровнях производственного ($a, в$) и комплексного ($б, з$) процессов

Численность проходческих бригад $n_{бр}$ и производительность труда проходчиков P также являются случайными величинами (рис. 3). Распределение численности бригад ближе к нормальному, а кривая имеет меньший размах и более острую вершину. Средняя численность бригад при проведении выработок равна $\bar{n}_{бр} = 34,7$ чел, ($k_{\sigma} = 0,27$), причем между показателями для буровзрывной ($\bar{n}_{бр} = 36,4$ чел, $k_{\sigma} = 0,45$) и комбайновой ($\bar{n}_{бр} = 37,6$ чел, $k_{\sigma} = 0,17$) технологий ощутимой разницы нет, т.е. трудоемкость работ мало влияет на штат проходческих бригад. Исключением являются лишь полевые выработки, сооружаемые буровзрывным спосо-

бом ($\bar{n}_{бр} = 43,6$ чел, $k_{\sigma} = 0,36$). Характерной особенностью этого показателя является малый коэффициент вариации.

Анализ производительности труда проходчиков показал, что она распределяется по гамма-закону, а величина показателя невысока. Так, среднемесячная производительность труда на предприятии равна $P = 2,88$ м/чел-мес ($k_{\sigma} = 0,57$), в том числе при буровзрывной технологии $P = 2,56$ м/чел-мес ($k_{\sigma} = 0,57$) и при комбайновой $P = 2,97$ м/чел-мес ($k_{\sigma} = 0,57$). Из приведенных данных следует, что на предприятии производительность труда проходчиков является стабильной и мало зависит от технологии работ. Некоторый рост скорости сооружения выработки при применении комбайна нивелируется увеличением численности проходческих бригад. Некоторые отличия от средних показателей наблюдаются при проведении штреков комбайнами, где значение $P = 3,79$ м/чел-мес ($k_{\sigma} = 0,57$) – максимально, и сооружении полевых выработок буровзрывным способом, где значение $P = 0,798$ м/чел-мес – минимально.

Связи между среднемесячной скоростью строительства и штатом проходческих бригад на шахтах "Свердловантрацит" не обнаружено. Корреляция между этими параметрами на уровне производственного процесса отсутствует в связи с тем, что в выборку вошли разнородные данные по всем видам выработок и типам технологических схем, а также данные, присущие различным этапам работ, включая сооружение технологического отхода, монтаж (демонтаж) оборудования, простои по различным причинам.

Анализ данных и внешнего вида кривых распределения показателей ГПР для комплексного процесса позволяет отметить, что на этом уровне в целом сохраняются закономерности, которые были установлены при анализе показателей на более высоком уровне производственной иерархии. Однако по всем видам выработок и типам технологических схем отмечен рост среднемесячной скорости проведения выработки, коэффициента использования рабочего времени и производительности труда проходчиков, что объясняется потерями рабочего времени на уровне производственного процесса, которые достигают до 25%. Численность же проходческих бригад осталась прежней, так как работы по проведению выработок и при переходе из одной выработки в другую выполняют одни и те же рабочие. Следует отметить, что на уровне комплексного процесса существенно уменьшилась и вариация всех показателей.

На уровне комплексного процесса стала прослеживаться корреляция между скоростью проведения выработки V_{np} и численностью проходческой бригады $n_{бр}$. Наилучшим образом ей соответствует экспоненциальная зависимость вида $V_{np} = a_0(1 - e^{-a_1 n_{бр}})$, где a_0 и a_1 – параметры регрессионного уравнения, рассчитанные по методу наименьших квадратов.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что показатели горнопроходческих работ являются случайными величинами, закон распределения которых и функцию изменения во времени можно использовать для определения производственных заданий с учетом вероятности их выполнения. Такой подход позволит объективно назначать месячные планы проходческим бригадам, повысить заинтересованность проходчиков в результатах своего труда, а, следовательно, и темпы проведения выработок.

На основании исследования деятельности проходческих бригад ГП «Свердловантрацит» обоснована необходимость и приведены теоретические основы описания показателей горнопроходческих работ как случайных величин.

On the basis of research of activity of sinking brigades state-enterprise "Sverdlovantrazit" necessity of the description of parameters drivages as random quantities' is proved.

Библиографический список

1. Системное обоснование и разработка многоуровневой модели функционирования горнопроходческих работ: Отчет о НИР (заключительный): 123-ДБ / Донбас. гос. техн. ун-т; рук.: Бабиюк Г.В.; исполн.: Смекалин Е.С. [и др.]. – Алчевск, 2006. – 369с. - № ГР 0103U000237; инв. №0207U000237.
2. Хан Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шатино. - Пер. с англ. - М.: Мир, 1969. - 395с.
3. Рогинский В.М. Повышение эффективности проходки горизонтальных разведочных выработок. - М.: Недра, 1978. - 150с.
4. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. - М.: Наука, 1965. - 524с.
5. Нильва Э.Э. Горно-подготовительные работы на угольных шахтах / Э.Э.Нильва, И.Э. Цейтин. - М.: Недра, 1981. - 216с.
6. Першин В.В. Интенсификация горнопроходческих работ при реконструкции шахт. - М.: Недра, 1988. - 136с.
7. Червоный А.А. Надежность технологических систем / А.А. Червоный, В.И. Лукьященко, Л.В. Котин. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1976. - 278с.