

ДОНБАССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

Выпуск 3 (46) 2016



СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

**Сборник
научных трудов
Донбасского государственного технического
университета**

Collection of Scientific Papers of DonSTU

Сборник
Выходит 1–3 раза в год
Основан в июне 1999 г.
Выпуск 3 (46) 2016

Алчевск
2016

УДК 622(06) + 669(06) + 69(06) + 65.011.56 +
621.3 + 33 + 621.37 + 1

**Сборник научных трудов
Донбасского государственного
технического университета**

Сборник

Выпуск 3 (46) 2016

**Основатель:
Донбасский государственный
технический университет**

*Свидетельство Министерства
информации, печати и массовых
коммуникаций ЛНР о государственной
регистрации средства массовой
информации МИ-СГР ПИ 000003
от 05.02.2016*

*Рекомендовано ученым советом
ГОУВПО ЛНР «ДонГТУ»
(Протокол № 6 от 14.06.2016)*

*Включен в наукометрическую базу
данных РИНЦ*

Формат 60×84½.
Усл. печат. л. 23,7
Заказ № 194
Тираж 100 экз..

Издательство не несет ответственность за
содержание материала, предоставленного
автором к печати.

Адрес редакции, издателя и основателя:
Донбасский государственный технический
университет
пр.. Ленина, 16, г. Алчевск, ЛНР
94204

E-mail: info@dstu.education,
Web-site: <http://www.dstu.education>

ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКИЙ
ЦЕНТР,
ауд. 2113, т/факс 2-58-59
Свидетельство о государственной
регистрации издателя, изготовителя
и распространителя средства массовой
информации
МИ-СГР ИД 000055 от 05.02.2016.

Главный редактор

Зинченко А. М. — к.э.н., и.о. ректора

Заместитель главного редактора

Новохатский А. М. — д.т.н., проф.

Редакционная коллегия:

Литвинский Г. Г. — д.т.н., проф.
Финкельштейн З. Л. — д.т.н., проф.

Корнеев С. В. — д.т.н., проф.

Леонов А. А. — к.т.н.

Харламов Ю. А. — д.т.н., проф.

Ульяницкий В. Н. — к.т.н., проф.

Зелинский А. Н. — к.т.н.

Куберский С. В. — к.т.н., проф.

Денищенко П. Н. — к.т.н.

Дрозд Г. Я. — д.т.н., проф.

Бондарчук В. В. — к.т.н.

Псюк В. В. — к.т.н.

Мурга В. В. — к.т.н.

Столяров В. Н. — к.т.н.

Ушаков В. И. — к.т.н.

Коваленко Н. В. — д.э.н., проф.

Гришко Н. В. — д.э.н., проф.

Бизянов Е. Е. — д.э.н., проф.

Скомская С. А. — секретарь редакционной коллегии.

Для научных сотрудников, аспирантов,
студентов высших учебных заведений.

Язык издания:
русский, украинский и английский

ГОРНЫЕ НАУКИ

УДК 622.831: 622.28

д.т.н. Литвинский Г.Г.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, ligag@ya.ru)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ НА КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Дан анализ изученности проблемы формирования нагрузки на крепь. Показаны последствия ошибок проектирования I и II рода. Дана классификация основных факторов, влияющих на проектирование крепи. Рассмотрен практический пример неудачного крепления подготовительной выработки. Сформулированы требования к аналитическому описанию нагрузки на крепь. Получена обобщенная формула распределения нагрузки на крепь для разных условий контакта ее с породой.

Ключевые слова: крепь, деформации, тучение почвы, проектирование крепи, нагрузка на крепь, распределение нагрузки.

Структура основных фондов угольной промышленности характеризуется высоким удельным весом пассивной части (здания, сооружения и передаточные устройства), которая составляет около четырех пятых их общей величины, при этом более половины всех фондов приходится на горные выработки. Наибольшую долю занимают капитальные выработки, стоимость которых, например, на угольных шахтах составляет более 60-70% стоимости основных фондов [1].

Затраты на крепление и поддержание горных выработок составляют, в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий, от 50-70 до 250-300% всех затрат на их проведение. Такие большие издержки производства обусловлены развитием различных форм проявлений горного давления, которые существенно усиливаются по мере возрастания напряженности горного массива при увеличении глубины разработки. Если учесть и эксплуатационные расходы на крепление, охрану и ремонты подготовительных горных выработок, доходящие до 40-60% всех эксплуатационных затрат угольной шахты, становится понятной важность проблемы их снижения. Снижение расходов на крепление позволит существенно, во многих случаях в разы, увеличить фондоотдачу и фондорентабельность шахты, и, в итоге, резко снизить себестоимость добычи угля.

Основными причинами высокого уровня расходов следует считать недостаточно

научно обоснованные подходы при прогнозировании горного давления и обосновании способов и средств обеспечения устойчивости горных выработок.

В горной промышленности до настоящего времени крепи капитальных и подготовительных горных выработок в большинстве случаев проектируются без какого-либо прочностного расчета, а принятые ранее за образец и далеко не всегда обоснованные решения по выбору конструкций крепи и способов охраны выработок механически переносятся из одних условий в другие. В результате возникают ошибки проектирования I или II рода, которые ведут либо к неоправданному перерасходу материалов и трудовых ресурсов (ошибки проектирования I рода в 20-40% от всей протяженности выработок) или к повреждению и разрушению крепи (ошибки проектирования II рода в 25-30% выработок), что требует дорогостоящих ремонтов и перекреплений [2].

По проблеме конструирования и расчета крепи горных выработок существует достаточно обширная литература, в том числе имеется ряд обзорных и обобщающих публикаций отечественных и зарубежных авторов [3-6 и др.]. В них рассмотрено большое разнообразие подходов к решению задач выбора, проектирования и конструирования крепи.

В то же время следует отметить, что вопросы практического описания особенностей взаимодействия крепи и горного массива ос-

вещены недостаточно. Так, в частности, закономерности распределения нагрузки на крепь изучены далеко не полно, при расчете крепи принимаются заведомо упрощенные законы распределения, среди которых доминирующее положение занимают законы равномерного распределения. Именно последнее ввиду их значительной простоты и вычислительной доступности чаще всего рекомендованы в нормативных документах для использования при определении деформационно-прочностных параметров крепи.

Однако такие упрощенные подходы, которые на самом деле редко реализуются при работе различных конструкций крепи в горизонтальных, наклонных и вертикальных выработках, могут приводить (и, как показывает практика, приводят) к наиболее опасным ошибкам проектирования – переоценке грузонесущей способности крепи. Поэтому исследования данного вопроса имеют не только научную, но и весомую практическую значимость.

Цель исследования состоит в развитии теории прочностного расчета крепи за счет теоретического обоснования обобщенного закона распределения нагрузки на крепь при ее контактном взаимодействии с окружающим массивом горных пород.

Объектом исследования являются условия контактного взаимодействия крепи и массива горных пород, а **предмет** исследования – теоретическое обоснование обобщенного закона распределения нагрузки на крепь со стороны горного массива.

Основная идея исследования состоит в использовании теоретического подхода для описания контактного взаимодействия крепи с горным массивом и обоснования достаточно удобных обобщенных зависимостей распределения нагрузки на крепь.

Задачи исследования состоят в следующем:

а) провести анализ актуальности поставленной научной проблемы;

б) дать классификацию основных влияющих на проектирование крепи горных выработок факторов;

в) выполнить обобщение возможных форм распределения нагрузок на крепь;

г) теоретически описать взаимодействие крепи и окружающих пород;

д) получить обобщенную формулу закона распределения нагрузки на крепь, провести ее анализ и сделать практические рекомендации.

При проектировании крепи и способов обеспечения устойчивости горных выработок необходимо принимать во внимание и численно оценивать степень влияния многочисленных влияющих факторов, к основным из которых относятся:

1. Форма и особенности проявлений горного давления, которые формируют:

1.1 исходное напряженное состояние массива горных пород до проведения горной выработки;

1.2 концентрация напряжений в породах вокруг горной выработки и ее изменение в процессе эксплуатации;

1.3 прочностные и деформационные свойства породной толщи с учетом структурных неоднородностей (поверхностей контактов, параметров трещиноватости и др.) и особенностей технологии проведения выработки;

1.4 форма и размеры зон разрушения и смещений пород в окрестности выработки (вывалы, своды естественного равновесия, зоны запредельных деформаций и др.);

1.5 ожидаемые смещения породного контура выработки, величина и распределение нагрузки на крепь.

2. Принятые форма, размеры и особенности конструкции крепи, в частности:

2.1 форма крепи и отдельных ее элементов;

2.2 конструктивные и технологические зазоры между крепью и породным контуром;

2.3 наличие и пространственное расположение шарниров и узлов податливости, их деформационно-силовые параметры;

2.4 технология возведения крепи, время ввода крепи в работу, наличие предвари-

тельного распора элементов крепи в породе, неровности породного контура;

2.5 толщина и жесткость забутовки крепного пространства и др.

Как видим, необходимость учета такого большого числа влияющих факторов, роль которых меняется в зависимости от горно-геологических условий, делает задачу проектирования крепи очень сложной и неоднозначной, а успешность ее решения во многом предопределяется квалификацией и творческими способностями проектировщика. Следует подчеркнуть, что в не меньшей степени решение задачи оптимального крепления выработки зависит от технологической дисциплины и качества выполнения работ исполнителями непосредственно в забое выработки и уровня пооперационного и конечного контроля качества работ.

Сложность конструкции крепи можно проследить на примере западного конвейерного штрека лавы № 25 (25 ЗКШ) ш. Суходольская Восточная. Обращает на себя внимание необычайно мощная система крепления выработки, которая представляет собой комбинированную систему анкерной и стальной арочной крепи с усилением деревянными стойками (рис. 1, 2).

Анкерное крепление выработки осуществляется сталеполимерной анкерной крепью в кровле из 7 анкеров повышенной несущей способности диаметром $\varnothing 25$ мм и длиной $L = 2400$ мм под подхваты (штрипсы) длиной $L = 2500$ мм (2 шт.).

Параметры стальной арочной крепи приняты в соответствии с расчетом, по которому выбрана арочная крепь КМП-14,6 из профиля СВП-33 с узлом податливости ЗПК. Плотность крепи составляет 2 рамы/м.

При слабых породах в почве, стойки устанавливаются на лежни или на деревянные подкладки. Между соединительными замками смежных рам забивают межрамные деревянные распорки и арку заклинивают не менее чем в пяти точках деревянными клиньями в положении, соответствующем паспорту крепления.

Затяжка кровли и боков по всему сечению выработки предусмотрена сеткой-затяжкой 800×1000 мм с величиной ячейки 100×100 мм. Крепление сетки-затяжки между собой осуществляют крючками. Для недопущения просыпания горной массы с боков выработки ведут установку 2-х боковых анкеров $L = 2400$ мм с применением сетки-затяжки.

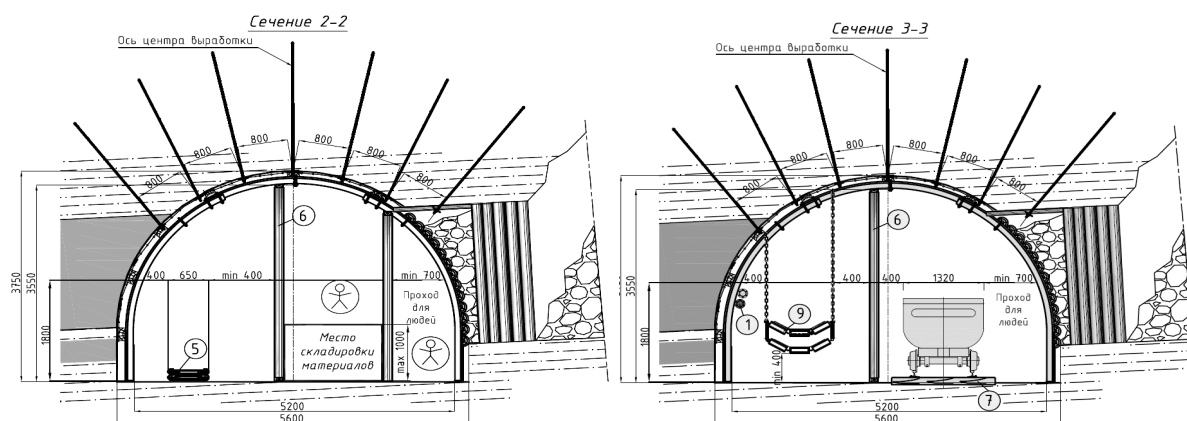


Рисунок 1 – Особенности крепления западного конвейерного штрека на ш. Суходольская-Восточная: а) в зоне сопряжения с лавой и б) после ее технологического отхода

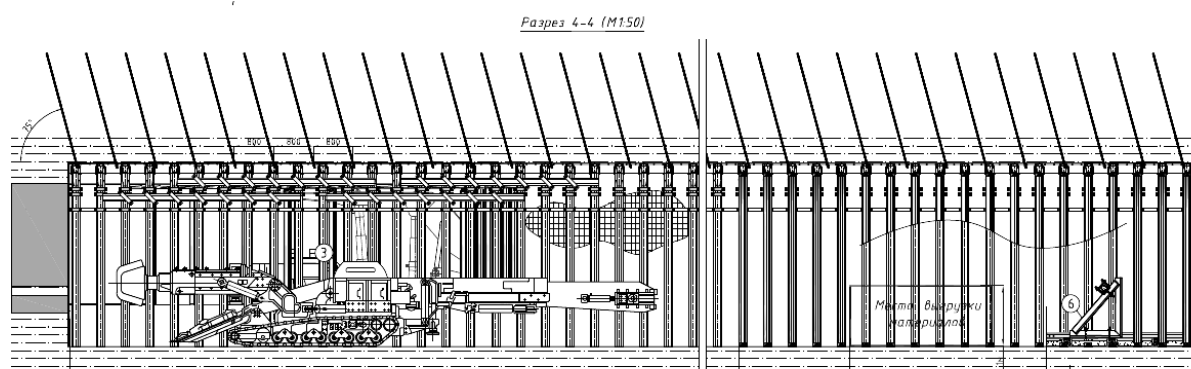


Рисунок 2 – Паспорт проведения и крепления конвейерного штрека 25 ЗКШ

Как следует из анализа горно-геологических условий, выработка находится в очень сложных ГГУ, а принятые технические решения для крепления выработки нельзя признать безошибочными.

Поскольку выработка поддерживается вслед за лавой, а пласт угля имеет сложное строение с общей средней мощностью до 2,4 м, то выработка попадает в зону интенсивного стационарного опорного давления в краевой части выработанного пространства по схеме «массив угля – обрезающая крепь – выработанное пространство».

Крепь апостериори неминуемо оказалась полностью деформирована не только на податливом участке ее деформационно-силовой характеристики, но и при работе в квазижестком режиме взаимодействия с массивом.

Общее представление о состоянии 25 ЗКШ по мере удаления от сопряжения с уклоном можно проследить по фотографиям (рис. 3). Если в начале состояние штре-

ка можно считать удовлетворительным, что объясняется наличием опоры в виде массива пород со стороны уклона, то далее с возрастанием номеров пикетов (ПК) его состояние ухудшается. На рисунке 3 видно нарастание деформаций крепи в штреке по мере удаления лавы, потеря арочной формы в виде выполаживания верхняка вплоть до обратного изгиба. Это безуспешно пытались предотвратить установкой дополнительных стоек под узлы податливости, которые из-за изгиба верхняка ломались и выключались из работы.

Состояние стоек крепи неудовлетворительно: явственно прослеживается полная потеря общей устойчивости стоек крепи (по Эйлеру) и местная потеря устойчивости стенок профиля, которая оказалась явно недостаточной, несмотря на применение спецпрофиля СВП 33. Стойки полностью потеряли несущую способность (сопротивление), что грозит завалом выработки

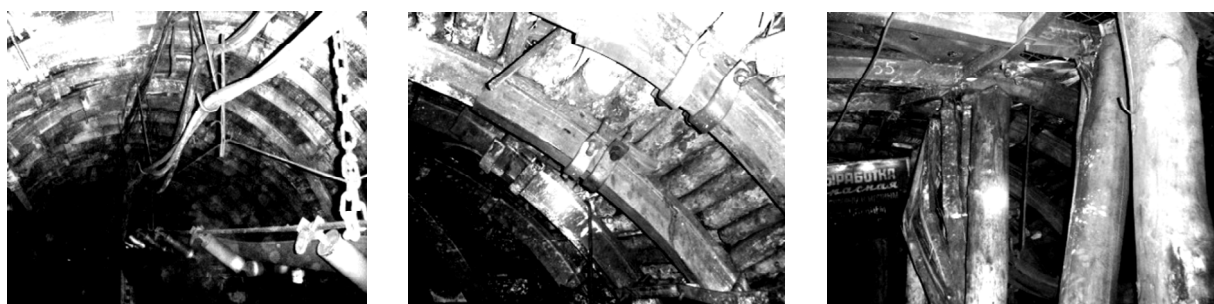


Рисунок 3 – Общий вид крепи 25 ЗКШ по мере удаления от уклона

На рисунке 4 можно наблюдать ухудшение состояния верхняков арочной крепи КМП в штреке 25 ЗКШ. На первом фото представлена типичная картина наклона рамы вдоль выработки после ее деформации в виде разрывов днища спецпрофилей и потери его общей и местной устойчивости. Такие рамы обладают ничтожной несущей способностью и представляют угрозу для горнорабочих из-за возможного внезапного обрушения пород в горную выработку.

Приведенный пример наглядно показывает ошибки при проектировании крепи и последствия в виде разрушения выработки, к которым они приводят.

Как же описать наиболее целесообразным образом распределение нагрузки на крепь, чтобы учесть все возможные варианты ее взаимодействия с массивом в процессе работы?

Для этого сформулируем основные требования, которым должна отвечать обобщенная искомая зависимость:

- соответствовать физической модели взаимодействия крепи с породой;
- быть теоретически обоснованной;
- охватывать в единой математической формуле все многообразие возможных распределений нагрузок по крепи от сосредоточенной силы до равномерной, от выпуклой до вогнутой эпюры распределения;
- быть простой и доступной для вычислений при расчете крепи.

На первом этапе рассмотрим физическую модель контакта крепи и породы.

Опыт применения крепи различных конструкций свидетельствует о том, что даже при использовании эффективных средств обеспечения контактного взаимодействия крепи и массива пород (забутовка, тампонаж, предварительный распор и др.) обеспечить равномерное распределение нагрузки на крепь не удастся из-за неровностей контура и его неравномерных смещений.

Можно с достаточно высокой степенью обоснованности утверждать, что повсеместно принятые в проектной практике расчеты крепи на равномерно распределенную нагрузку не соответствуют реально наблюдаемому взаимодействию крепи с массивом пород, чем значительно завышают прогнозируемую несущую способность крепи. По сути, такие расчеты имеют условный характер и дезориентируют проектировщиков и производителей при выборе параметров крепи, переоценивая ее прочность и надежность.

Вопрос о распределении нагрузки по периметру крепи приобретает особую важность не только с точки зрения правильного распределения усилий в конструкции рамы, но и для выбора прочностных показателей межрамных ограждений. Если известны участки крепи с повышенной интенсивностью нагружения, то, установив на них более прочную затяжку, можно обеспечить более высокую надежность крепи.



Рисунок 4 – Деформации верхняков рамной крепи КМП: разрывы сплошности, потери продольной устойчивости и скручивания профиля

На первом этапе нагрузка формируется лишь на узком участке периметра крепи в окрестности точки первичного касания пород. Затем по мере возрастания нагрузки и прогиба нагруженного элемента крепи этот участок расширяется, а форма распределения нагрузки изменяется от почти сосредоточенной силы в сторону более равномерной эпюры. Даже при самых благоприятных условиях нагружения (точное оконтуривание выработки, равномерная забутовка, идеальное соблюдение технических требований по установке крепи и т. д.) нельзя ожидать равномерного распределения нагрузок на крепь.

В процессе развития проявлений горного давления породы смещаются в выработку, как правило, по нормали к напластованию и крайне неравномерно – максимально в середине пролета кровли (или почвы) и далее уменьшаются по мере удаления от центра пролета.

Для изучения особенностей формирования нагрузки на крепь в процессе ее контактного взаимодействия с массивом рассмотрим следующую расчетную схему (рис. 5). Участок крепи, подверженный активному нагружению p и смещающийся внутрь выработки, называют зоной "отлипания", а его размер зависит от свойств пород, забутовки закрепного пространства и деформационных показателей верхняка рамы.

За меру контакта может быть принят угол β ($-90^\circ < \beta < 90^\circ$), показывающий угловую координату двух границ участка контакта (в радианах или в градусах) от нормали из центра выработки к напластованию пород в кровле:

$$p = \arccos[1 - (U_C + U_K + U_3)/R_B], \quad (1)$$

где U_C – деформации смятия пород на участке контакта с крепью, м;

U_K – прогиб крепи под нагрузкой, м;

U_3 – податливость забутовки на участке контакта "рама-кровля", м;

R_B – радиус верхняка крепи, м.

Сущность уравнения (1) становится достаточно ясна из следующих рассуждений. Если система "крепь-забутовка-породный массив" абсолютно жесткая, что можно характеризовать одновременным выполнением условия $U_C = U_K = U_3 = 0$, то участок контакта предельно мал ($p = 0$) и на крепь действует в точке контакта с породами сосредоточенная нагрузка. Такой случай можно зачастую наблюдать, когда арочную крепь устанавливают под "плоскую" кровлю без забутовки. По мере увеличения прогибов верхняка крепи и податливости забутовки участок контакта расширяется и в пределе может составить прямой угол ($\beta = \pm \pi/4$).

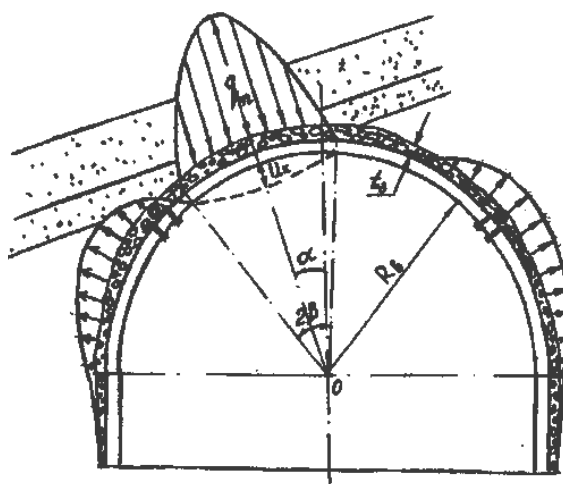


Рисунок 5 – Распределение нагрузки на раму арочной крепи

Деформация смятия пород U_C на участке контакта с верхняком зависит от их прочности, показателей деформативности и пластичности, степени развития трещин разрыва сплошности (расслоения) вдоль напластования пород, что осредненно характеризуют коэффициентом разрыхления. Чем больше прочность и жесткость породы, тем меньше влияние этого показателя на деформацию смятия U_C . Коэффициент разрыхления пород при их смещении в выработку изменяется в зависимости от напряжений,

действующих в породе, и, на последних стадиях ее разрушения, от реакции (отпора) крепи. Если крепь работает в режиме линейно возрастающего сопротивления, то трещины расслоения, концентрация которых максимальна у контура по нормали к напластованию пород, начинают смыкаться, создавая эффект смятия и снижения коэффициента разрыхления. При этом происходит уменьшение прогиба пород в выработку и снижение неравномерности нагружения крепи. На практике реальные крепи отклоняются от строгого режима линейно возрастающего сопротивления, поэтому можно считать, что при исчерпании податливости и переходе к жесткому режиму эффект смятия проявляется еще отчетливее.

Взаимодействие податливой крепи с массивом в режиме заданного нагружения, когда коэффициент жесткости равен или близок к нулю, отличается более плавным изменением параметров разрыхления пород окружающего массива. Если режим работы крепи характеризуется падающим (запредельным) участком, т. е. когда ее отпор по мере развития смещений начинает снижаться (коэффициент жесткости отрицательный), следует ожидать заметного увеличения раскрытия трещин, повышения коэффициента разрыхления и, соответственно, неравномерности нагрузки на крепь. Учитывая то обстоятельство, что в реальных конструкциях податливой крепи при работе узлов податливости ее отпор изменяется скачками, можно прогнозировать примерно такого же характера изменения трещиноватости пород в массиве во времени. Шахтные инструментальные наблюдения подтверждают периодическое (скачкообразное) изменение раскрытия трещин в процессе взаимодействия крепи с массивом [7].

Прогиб U_K верхняка крепи можно учесть расчетными методами строительной механики как элемент рамы под действием активной нагрузки на участке кон-

такта 2β (см. рис. 5). При этом следует принять во внимание кинематические ограничения смещений крепи на тех участках периметра, где обеспечен контакт с породным контуром и возникает пассивный отпор пород. Естественно, такая постановка задачи приводит к необходимости учета нелинейного характера взаимодействия крепи и массива, однако при наличии современных ЭВМ это не представляет особой сложности. Основное затруднение при этом состоит в определении исходных показателей по оценке плотности и отпорных характеристик забутовки закрепного пространства.

Главную деформационно-силовую характеристику забутовки дает ее компрессионная кривая, устанавливающая связь между давлением и уплотнением материала:

$$q = \sigma_0 \left[\frac{U_3}{\varepsilon_0 t_3 - U_3} \right]^n, \quad (2)$$

где q – давление на забутовку, Па;

σ_0 , ε_0 , n – параметры компрессионной кривой забутовки, определяемые экспериментально;

U_3 – смещение поверхности забутовки, м;

t_3 – толщина забутовочного слоя, м.

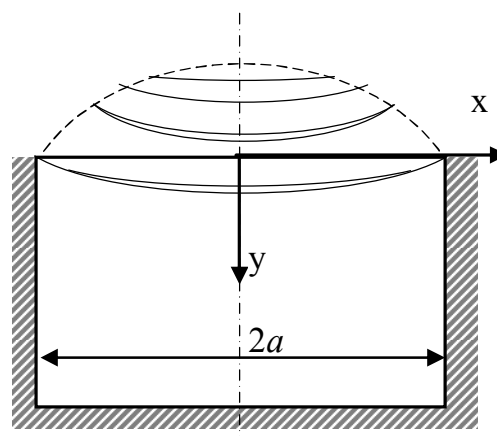


Рисунок 6 – Расчетная схема смещений пород кровли

Зависимость (2) достаточно удовлетворительно описывает поведение раздробленных материалов до момента начала разрушения отдельных кусков в точках контакта. Для определения входящих в уравнение (2) параметров компрессионных свойств забутовки достаточно произвести сжатие под прессом заданного слоя забутовки из пород реального фракционного состава. Повышая ступенями нагрузку, необходимо фиксировать абсолютные смещения плиты прессы, что позволяет построить эмпирические графики $q = f(U_3)$. Обработав их методом наименьших квадратов, определяют параметры σ_0 , ε_0 , n .

Рассмотрим расчетную схему смещений пород в кровле, которая соответствует прогибу слоистых пород (рис. 6).

Такой характер прогибов будет формировать соответствующее распределение нагрузки на крепь: по мере удаления от центра выработки угол наклона прогибов возрастает, а нагрузка на крепь снижается, что можно записать следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{C_1}{m-1} x^{m-1}, \quad (3)$$

где y – смещения кровли выработки;
 x – расстояние от оси симметрии;
 m – коэффициент формы смещений.

Решением этого уравнения будет:

$$y = -C_1 x^m + C_2, \quad (4)$$

где C_1 и C_2 – постоянные, которые определяем из граничных условий:

$$\frac{dy}{dx} = 0 \text{ при } x = 0 \text{ и } y = 0$$

$$\text{при } x = a, \quad (5)$$

после чего уравнение примет вид:

$$y(x) = y_0 \left(1 - \left| \frac{x}{a} \right|^m \right), \quad (6)$$

где y_0 – максимальный прогиб пород при $x = 0$.

Если предположить, что распределение нагрузки на крепь будет аналогичным распределению смещений породного контура (6), то получим подобную формулу в виде:

$$q(\xi) = q_0 \left(1 - \left| \frac{\xi}{\xi_0} \right|^m \right), \quad (7)$$

где q_0 – математическое ожидание максимума нагрузки в центре участка контакта при $\xi = \xi_0$, кПа;

ξ – расстояние в обе стороны от точки максимума приложения нагрузки ξ_0 ;

m – показатель формы нагрузки, т. е. распределение нагрузки на участке контакта "крепь-массив":

для сыпучих пород $m \rightarrow 0$ (равномерно распределенная нагрузка),

для монолитных пород $m \rightarrow \infty$ (сосредоточенная нагрузка),

для обычных условий $m = 0,5 \dots 3$.

Такая зависимость оказывается весьма близкой к реальной и позволяет описать достаточно широкий диапазон условий взаимодействия крепи с массивом. Чем более жесткий режим сопротивления крепи и прочнее порода, тем более неравномерно распределяется нагрузка на участке контакта с породой (рис. 7).

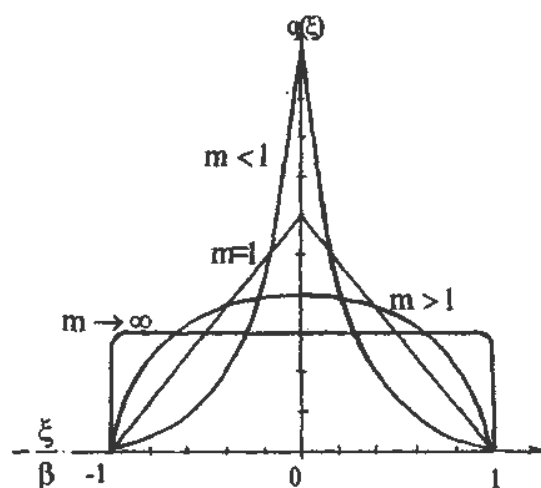


Рисунок 7 – Формы распределения нагрузки на участке контакта крепи с массивом пород

Чтобы определить значения максимума контактного давления q_m , воспользуемся деформационно-силовой характеристикой крепи в податливом режиме работы. В частности, при наступлении стадии податливости несущая способность рамной крепи предопределяется суммарным сопротивлением сдвигу спецпрофилей в узлах податливости и не может быть больше него.

Полученная формула может быть использована не только для прямолинейных элементов или участков крепи, но и для крепи с произвольным контуром. Для этого следует несколько видоизменить представление обобщенной зависимости с учетом новых координат. Например, для арочной рамной крепи с полуциркульным сводом уравнение (7) примет вид:

$$q(\varphi) = q_m \left(1 - \left| \frac{\varphi}{\varphi_0} \right|^m \right), \quad (8)$$

где φ – угловое расстояние от точки максимума приложения нагрузки, в которой $\varphi = \varphi_0$.

В самом общем случае, если внешняя нагрузка на крепь имеет более сложную форму распределения, которая складывается из сочетаний сосредоточенных сил и разных законов распределения, то ее можно будет описать суперпозицией нагрузок (7) или (8):

$$q(\phi) = \sum_{i=1}^n q_{0i} \left(1 - \left| \frac{\phi}{\phi_{0i}} \right|^{m_i} \right), \quad (9)$$

где $1 \leq i \leq n$ – число участков крепи с различным распределением внешней нагрузки;

q_{0i} , ϕ_{0i} , m_i – соответственно максимум нагрузки, координаты границы и показатель формы нагрузки на каждом i -том участке.

Формирование нагрузки на крепь во многом зависит и от условий задания от-

пора крепи по ее периметру. Особенно часто встречаются случаи, когда на породный контур действует нагрузка в виде одной или нескольких сосредоточенных сил, например, отдельно стоящих стоек или анкеров с предварительным распором.

Устойчивость породного контура при этом будет зависеть от прочности породного слоя и условий передачи усилий от стойки (анкера) на породу. Расчетная схема такой задачи будет близка к породной плите, заделанной по двум противоположным краям и опертой на равномерно расположенные опоры. Установленные под плиту опоры (анкеры или стойки) уменьшают свободный пролет и за счет такой опоры появляется дополнительная неразрезная конструкция, значительно повышающая жесткость и несущую способность породной плиты.

Предварительные оценки показывают, что установка только одной опоры, например, стойки по центру выработки, позволяет за счет уменьшения пролета в 2 раза снизить максимальные моменты в 4 раза, а учитывая изменения условий опирания породной плиты на опору, – еще в 1,8 раза. Суммарно установка только одной такой стойки позволяет повысить устойчивость породного пролета в кровле или почве в 7-8 раз.

Во столько же раз снижается вероятность разрушения и выдавливания слоистых пород в кровле или почве в виде продольно-поперечного изгиба слоев (феномен «пучения»). Такой же эффект на устойчивость породной плиты в кровле выработки оказывают и установленные анкера, кратно уменьшая свободные пролеты кровли и существенно меняя условия ее опирания.

Тем самым получает объяснение давно установленный на практике факт существенного повышения устойчивости горной выработки за счет установки дополнительного ряда стоек по ее центру. Такой способ особенно широко применяется в практике охраны подготовительных горных выработок, примыкающих к фронту очистных работ, где проявления горного давления оказываются непреодолимо интенсивными.

К числу недостатков способа борьбы с негативными последствиями (апостериори) проявлений горного давления за счет установки стоек следует отнести неизбежное уменьшение габаритных размеров в сечении горной выработки.

Тем не менее, знание закономерностей распределения нагрузки на крепь позволяет выбрать наиболее эффективную систему противодействия горному давлению, причем, среди разных альтернатив серьезным преимуществом обладает система крепления с центральной стойкой. В таком креплении полностью реализуется идея использования противодействия друг другу давлений и смещений кровли и почвы. Эта идея заслуживает серьезного внимания при конструировании новых типов податливых стоечных крепей.

Выводы.

Анализ состояния вопроса показал, что крепи горных выработок проектиру-

ются без прочностных расчетов, что приводит к ошибкам проектирования I или II рода. Дан пример, демонстрирующий негативный опыт крепления.

Разработаны требования, которым должна отвечать формула для описания распределения нагрузки на крепь. Впервые дано исходное дифференциальное уравнение и получена обобщенная формула, охватывающая большинство возможных случаев распределения нагрузки на крепь. Рассмотрены условия формирования нагрузки по периметру крепи.

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что можно обоснованно выбирать наиболее эффективную крепь в зависимости от ожидаемой формы распределения внешней нагрузки.

Задачей дальнейших исследований будет разработка алгоритмов расчета различных конструкций крепи с учетом закономерностей формирования нагрузки на крепь.

Библиографический список

1. http://www.coal.in.ua/vosstanovlenie_donbassa/razvitie_jekonomiki_ugolnoj_promyshlennosti/634-shaxtnyj-fond-osnovnye-i-oborotnye-sredstva.html/
2. Литвинский Г.Г. Стальные рамные крепи горных выработок / Г.Г. Литвинский, Г.И. Гайко, Н.И. Кулдыркаев. — К. : Техника, 1999. — 216 с.
3. Давыдов С.С. Расчет и конструирование подземных конструкций / С.С. Давыдов. — М. : Стройиздат, 1950. — 376 с.
4. Булычев Н.С. Расчет крепи капитальных горных выработок / Н.С. Булычев, А.З. Амусин, А.Г. Оловянный. — М. : Недра, 1974. — 320 с.
5. Antoni Tajdus, Marek Gala, Krzysztof Tajdus. Geomechanika w budownictwie podziemnym. — Krakow : AGH, 2012. — 762 p.
6. Jovanovic P. Projektovanje i proracun pograda podzemnih prostora / Petar Jovanovic. — Beograd: Rudarsko-geoloski fakultet Unniverziteta u Beogradu, 1994. — 436 p.
7. Заславский Ю.З. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт / Ю.З. Заславский, А.Н. Зорин, И.Л. Черняк. — К. : Техника, 1972. — 156 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонНТУ Борщевским С.В.

Статья поступила в редакцию 15.05.16.

д.т.н. Литвинський Г.Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

Надано аналіз вивченості проблеми формування навантаження на кріплення. Показані наслідки помилок проектування I і II роду. Дана класифікація основних факторів, що впливають на проектування кріплення. Розглянуто практичний приклад невадлого кріплення підготовчої ви-

бки. Сформульовано вимоги до аналітичного опису навантаження на кріплення. Отримано узагальнену формулу розподілу навантаження на кріплення для різних умов контакту її з породою.

Ключові слова: кріплення, деформації, здирання підлоги, проектування кріплення, навантаження на кріплення, розподіл навантаження.

PhD Litvinskiy G.G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

REGULARITIES OF LEG LOAD FORMATION OF MINE WORKING

Analysis of the studied problem of leg load formation is given. Outcomes of design faults of the I and II types are shown. The classification of main factors influenced on lining design is given. The practical example of failed fastening of preliminary development has been studied. Requirements for analytical description of leg load have been stated. The generalized formula of leg load distribution is calculated considering different contact conditions with rock.

Key words: lining, deflections, floor heaving, lining design, leg load, load distribution.

УДК 622.831.22+622.833.5

д.т.н. Литвинский Г.Г.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, ligag@ya.ru)

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВОКРУГ ЛАВЫ

Рассмотрена задача о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород в окрестности очистного забоя. Расчетная схема задачи учитывала контактное взаимодействие кровли и почвы в выработанном пространстве лавы. Получены удобные аналитические выражения для определения концентрации опорного давления впереди лавы и в зоне обрушенных пород до и после осадки основной кровли. Раскрыты закономерности проявлений горного давления в подготовительных выработках в зоне вредного влияния очистных работ. Показана важная роль параметра L , характеризующего зависание консоли основной кровли в лаве.

Ключевые слова: очистные работы, лава, напряженное состояние, опорное давление, обрушение кровли, осадка основной кровли, выработанное пространство, подготовительная выработка.

Определение напряженного состояния массива пород при выемке полезного ископаемого и устойчивость выработок в зоне влияния очистных работ – важнейшие проблемы горной геомеханики, привлекающие к себе внимание многих исследователей; они особенно актуальны в сложных геологических условиях и на больших глубинах [1-3 и др.]. В большинстве случаев широкое распространение получили численные методы решения на ЭВМ задачи о напряженно-деформированном состоянии (НДС) массива горных пород в окрестности очистного забоя. Однако получаемые результаты об НДС в виде набора частных решений для конкретных горно-геологических условий были плохо обозримы, трудно поддавались обобщению с целью получения общих закономерностей и в лучшем случае могли служить лишь иллюстрацией к решению общей проблемы.

Для изучения устойчивости подготовительных выработок в зоне вредного влияния очистных работ нужно знать, как перераспределяются напряжения вокруг движущегося очистного забоя, описать проявления горного давления в одиночной капитальной, затем в подготовительной выработке, непосредственно не примыкающей к выработанному пространству, и,

наконец, в подготовительной выработке, оказавшейся в зонах краевой части пласта либо раздавленного угла.

Сложность проблемы заключается в необходимости учета изменчивости поля напряжений вокруг выработки по мере движения очистного забоя. В первую очередь следует рассмотреть закономерности распределения напряжений вокруг лавы. Применение механики сплошной среды при решении задач о напряжениях в окрестности очистного забоя основано на ряде идеализаций, которые иногда принимаются без достаточного обоснования и могут коренным образом повлиять на окончательное решение и практические выводы.

Наиболее распространенные упрощения, которые принимались многими авторами, нередко без попытки их анализа и обоснования, сводятся к предположению об упругом поведении горного массива в окрестности очистного забоя, об отсутствии взаимодействия кровли и почвы пласта в выработанном пространстве. Кроме того, постулировалась невесомость массива горных пород, не учитывались касательные напряжения, вызванные трением при проскальзывании кровли относительно почвы в области их контакта при обрушении пород на наклонном пласте. Эти и ряд других гипотез и идеализаций ограни-

чивали возможность практического использования многих численных решений на ЭВМ, которые получили в последнее время довольно большое распространение, особенно благодаря доступности использования известных пакетов прикладных программ (ANSY, Лира и др.), реализующих метод конечных элементов (МКЭ), метод конечных разностей, метод граничных интегральных уравнений и т. д., и простоте получения с их помощью численных решений.

Однако до сих пор отсутствуют теоретически обоснованные аналитические зависимости, позволяющие раскрыть основные закономерности распределения напряжений в окрестности лавы, оценить НДС пород вокруг подготовительных выработок различного назначения, что существенно затрудняет принятие горноинженерных решений при добыче полезных ископаемых.

Цель исследований – получение теоретически обоснованных закономерностей проявлений горного давления в окрестности лавы и оценки их влияния на устойчивость подготовительных горных выработок.

Объекты исследования – НДС массива горных пород, вызванное ведением горных работ, и устойчивость подготовительных горных выработок в зоне вредного влияния лавы.

Основная идея выполненных исследований состоит в использовании аналитико-экспериментального метода решения задачи при нахождении НДС в виде удобных для практики проектирования аналитических зависимостей.

Основное отличие данного исследования от ранее проведенных состоит в попытке получения решения задачи об НДС массива вокруг очистного забоя с учетом контактного взаимодействия кровли и почвы лавы в выработанном пространстве.

С нашей точки зрения, для решения такой сложной задачи наиболее уместен аналитико-экспериментальный метод, заключающийся в том, что вначале, исходя

из обоснованно упрощенной расчетной схемы распределения напряжений, определяют структурные аналитические зависимости между наиболее важными факторами, а затем погрешности решения, вызванные рядом допущений, корректируют эмпирическими коэффициентами. Их находят по результатам шахтных инструментальных замеров. Такой подход преследует цель получения достаточно простых, удобных и пригодных для практического применения зависимостей о НДС массива горных пород вокруг лавы.

Для реализации предложенной методики исследований в качестве исходной расчетной схемы (рис. 1) рассмотрим массив горных пород как весомую полуплоскость, в которой расположен угольный пласт заданной мощности m с произвольным углом падения β на глубине H . Очистной забой продвинулся на достаточно большое расстояние от разрезной печи, когда первичная осадка основной кровли уже произошла и кровля пласта вошла в силовое контактное взаимодействие с почвой.

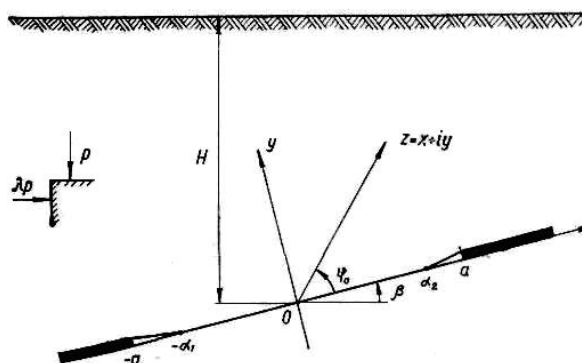


Рисунок 1 – Расчетная схема задачи по определению НДС горных пород в окрестности очистного забоя

Если пренебречь небольшой по мощности зоной интенсивного разрушения и беспорядочного обрушения пород, сравнимой с несколькими мощностями пласта m , то можно без особо значимой ошибки считать, что основная толща массива горных пород над выработанным пространством, постепенно прогибаясь, на участке,

где прогиб достигает мощности отработанного пласта m , входит в контактное взаимодействие с почвой пласта. Эта нагрузка на участке контакта возрастает по мере удаления от забоя в сторону выработанного пространства, начиная от точки смыкания кровли с почвой.

Используя работу [4] с точки зрения приложения к рассматриваемой задаче, можно обобщить полученное в ней решение на случай, когда очистной забой движется по простиранию или падению пласта, а точки смыкания кровли с почвой оказываются на различном расстоянии от забоя у вентиляционного и откаточного штреков.

Исходное напряженное состояние массива можно задать произвольным, но для нашего случая, без уменьшения общности, вертикальное напряжение p принимаем равным давлению вышележащих пород

$$p_B = \gamma H,$$

а горизонтальное напряжение с учетом бокового распора массива принимаем равным:

$$p_T = \lambda \gamma H,$$

где γ – средний объемный вес пород вышележащего массива, $\gamma = (2,5 \dots 2,7) \text{ тс/м}^3$;

λ – коэффициент бокового распора массива, определяемый по натурным геофизическим измерениям, обычно его значения изменяются в пределах $0 < \lambda < 1$.

Очистная выработка (рис. 1) и выработанное пространство расположены вдоль наклонной плоскости с углом падения β . В центре очистного пространства поместим прямоугольную систему координат xOy , ориентированную вдоль линии падения пласта.

Все выработанное пространство состоит из двух зависших по его концам участков основной кровли с размерами по падению $(-a, -\alpha_1)$ и по восстанию (α_2, a) пласта, примыкающих к массиву. Между ними находится участок контакта кровли с

почвой с границами $(-\alpha_1, \alpha_2)$, расположенными в выработанном пространстве.

Таким образом, $-\alpha_1$ и α_2 – координаты точек смыкания кровли и почвы пласта в выработанном пространстве очистной выработки, которые определяются из решения контактной задачи. На свободных участках кровли и почвы пласта с границами $(-a, -\alpha_1)$ и (α_2, a) нормальная и касательная компоненты тензора напряжений равны нулю. На участке контакта с границами $(-\alpha_1, \alpha_2)$ существует непрерывность нормальных к плоскости пласта напряжений, касательные же напряжения вдоль плоскости пласта подчиняются закону трения Кулона, тогда как вертикальные смещения кровли пласта претерпевают скачок, равный мощности пласта m .

После решения задачи получены значения функций [4], позволяющие вычислить все компоненты напряжений:

$$\left. \begin{aligned} \Phi(z) \\ \Omega(z) \end{aligned} \right\} = \frac{2B + B'}{2\sqrt{z^2 - a^2}} \left[(1-f)\sqrt{(z+\alpha_1)(z-\alpha_2)} + \right. \\ \left. + iz \left(f - \frac{C'}{2B + B'} \right) + (1-if)(\alpha_1 - \alpha_2) \right] \mp \\ \mp \frac{B' - iC'}{2}, \quad (1)$$

где $z = x + iy$ – комплексная переменная;

x, y – координаты комплексной плоскости;

f – коэффициент трения кровли и почвы выработки на участке контакта;

B, B', C' – постоянные, которые вычисляются [5] исходя из начального напряженного состояния горного массива и угла падения пласта β ,

$$B = \frac{1}{4}(1 + \lambda)\gamma H; \quad B' + iC' = \frac{1 - \lambda}{2}\gamma H e^{-2i\beta}.$$

Общее представление о распределении напряжений в окрестности лавы представлено на рисунке 2, где показаны:

кривые 1, 2 и 3 – соответственно максимальное, осредненное и минимальное опорное давление Y_v (вертикальная компонента напряжений) при изменении относительной длины x/L консоли основной кровли до (1) и после (3) ее обрушения;

4 – горизонтальное напряжение X_x в кровле пласта по мере удаления от забоя;

5 – изменение вертикального напряжения в кровле пласта Y_v в координатах Лагранжа при осадках основной кровли по мере приближения лавы;

σ/p – координатная ось концентрации компонентов тензора напряжений в кровле лавы.

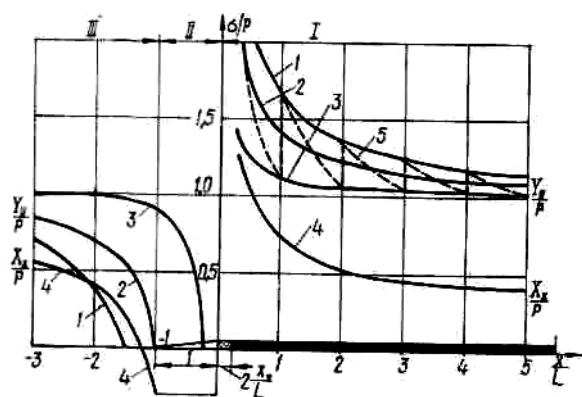


Рисунок 2 – Распределение напряжений в кровле пласта возле лавы по мере изменения относительного расстояния до забоя лавы в пределах $-\alpha_1 < x/L < \infty$

Для полного решения задачи следует найти координаты точек смыкания участка контакта кровли и почвы ($-\alpha_1, \alpha_2$). Однако определенные таким образом координаты будут соответствовать чисто упругому взаимодействию кровли и почвы, и свободные от напряжений зависшие консоли основной кровли окажутся чрезмерно большой протяженности, что не соответствует реальному поведению массива пород в выработанном пространстве.

Как показывает практика ведения очистных работ, породы кровли, а нередко и почвы пласта, по мере перемещения очистного забоя, теряют свою сплошность и жесткость из-за возникновения и роста

трещин расслоения. В результате развития бегущих трещин расслоения и сдвига по мере роста консоли основной кровли происходит периодическое ее обрушение.

По мере подвигания очистного забоя на участке контакта кровли с почвой образуется зона беспорядочного обрушения, а выше – зона плавного прогиба пород. В этой зоне из-за развитой техногенной трещиноватости, вызванной движением лавы, деформационные характеристики массива горных пород (модули сдвига G и продольной упругости E) значительно снижаются (на порядок и более) по сравнению с упругими показателями.

Изменение прочностных и деформационных свойств массива в первую очередь будет отражаться на особенностях перераспределения давления в выработанном пространстве и частоте периодических осадок основной кровли.

За обобщенный объективный показатель проявлений горного давления в лаве, в котором суммарно отражаются все особенности поведения кровли лавы при ее перемещении по мере развития очистных работ, следует принять безразмерную по отношению к мощности m пласта координату точки смыкания кровли с почвой пласта L/m .

Эта относительная координата по горизонтальной оси x/L прямо зависит от длины консоли и шага осадки основной кровли. Поведение точки смыкания кровли с почвой пласта происходит по пилообразному графику: сразу после обрушения основной кровли точка смыкания находится возле самого забоя на минимальном расстоянии l_0 . Далее, по мере удаления забоя лавы координата точки смыкания постепенно увеличивается и происходит удлинение консоли основной кровли. Затем, когда забой лавы удалится от точки смыкания на расстояние l_k , происходит обрушение основной кровли и точка смыкания скачком возвращается на минимальное расстояние от забоя лавы. Этим

обусловлен пилообразный вид годографа движения точки смыкания.

Если учесть, что в среднем точка смыкания находится между двумя крайними положениями до и после осадки основной кровли, то ее расстояние от забоя можно найти по формуле:

$$L = x_* + l_0 + \xi \quad (0 \leq \xi \leq l_k), \quad (2)$$

где x_* – половина ширины раздавленной зоны угля;

l_0 – длина остающейся сразу после осадки пород консоли основной кровли (с учетом ширины призабойного пространства);

ξ – подвигание лавы после очередной осадки пород основной кровли; l_k – шаг осадки основной кровли.

Параметр L – интегральная характеристика проявления горного давления в лаве; зависит от прочностных и деформационных свойств массива пород и угля, мощности пласта, ослаблений и неоднородностей породной толщи, от исходного поля напряжений в массиве, способа управления кровлей, скорости движения лавы, угла падения пород и т. д.

Для практического использования полученных соотношений достаточно приближенно определить расстояния L из паспорта управления кровлей в лаве и шахтных инструментальных наблюдений.

Раскрытие вида функциональной зависимости L от влияющих факторов представляет самостоятельный научный интерес и может явиться целью дальнейших исследований. Если совместить начало координат с очистным забоем и ограничиться случаем пологого падения пласта, то из формулы (1) получим уравнения для определения опорного давления:

а) до осадки основной кровли:

$$Y_y = \gamma H \frac{x + a}{x(x + 2a)} \quad \text{при } x \geq x_*; \quad (3)$$

б) после осадки кровли и удаления лавы от разрезной печи:

$$Y_y = \gamma H \sqrt{1 + \frac{L}{x}} \quad \text{при } \left| x + \frac{L - x_*}{2} \right| \geq \left| \frac{L + x_*}{2} \right|, \quad (4)$$

где x – расстояние от рассматриваемой точки до очистного забоя;

a – половина ширины выработанного пространства до первичной осадки кровли; ограничения, накладываемые на изменения x , связаны с особенностями поведения решения.

Из рисунка 2 видно, что распределение напряжений в окрестности лавы существенно различается при разной длине консоли основной кровли. Можно выделить три зоны:

Зона I опорного давления становится заметной при приближении лавы на $x = (4 \dots 6)L$. Так, например, можно заметить начало зоны вредного влияния при $L = 20$ м на расстоянии $x = 80 \dots 120$ м впереди забоя лавы, что хорошо согласуется с данными шахтных замеров.

Зона II характерна для переходного процесса зависания основной кровли между чередующимися ее осадками, где длина зависшей консоли основной кровли изменяется по мере подвигания лавы.

Зона III соответствует контактному взаимодействию пород кровли и почвы пласта в выработанном пространстве при переменной координате точки смыкания.

Кривые 1, 2 и 3 (рис. 2) в различных зонах показывают изменение опорного давления Y_y и горизонтального напряжения X_x при максимальном осредненном и минимальном значениях параметра L .

Полученное решение хорошо совпадает с практикой лишь с расстояния более 3–5 м впереди лавы ввиду наличия зоны раздавливания опорным давлением угля, когда он переходит на краевой части пласта в пластическую стадию. Это можно учесть путем примерно конгруэнтного смещения кривой опорного давления перед лавой на половину зоны раздавленного угля. В ряде случаев таким влиянием раздавленной зоны угля можно пренебречь, особенно, если

перенести начало координат в фиктивный забой на расстояние x^* перед лавой.

Для исследования устойчивости подготовительных выработок на шахтах объединения Краснодонуголь, разрабатывающих пологие и наклонные пласты, проведен длительный комплекс натурных исследований. Наблюдения проводились в 46 подготовительных выработках, где были установлены 368 станций с контурными реперами и пробурены 23 скважины глубинных реперов. При этом использовалась усложненная методика наблюдений с увеличенным количеством наблюдательных пунктов (от 11 до 19).

Расстояние между замерными станциями, оборудованными контурными реперами, не превышало половины шага посадки основной кровли в лаве. Обработку результатов наблюдений выполняли в неподвижной (Лагранжа) и подвижной (Эйлера) системах координат, что позволило выявить закономерности смещений пород на заданных расстояниях от забоя лавы при изменении длины консоли основной кровли.

Прочностные свойства вмещающих выработки пород определяли в шахтных условиях на образцах полуправильной формы путем их испытания в виде необработанных кернов или методом раскалывания образцов неправильной формы сферическими инденторами с помощью прибора ППЭИ.

Результаты шахтных экспериментов подтвердили существенное влияние осадок основной кровли на проявления горного давления в подготовительной выработке. В фиксированном сечении подготовительной выработки (по мере приближения лавы), когда происходят периодические осадки основной кровли, опорное давление постепенно повышается из-за увеличения длины ее консоли и достигает максимума (рис. 2, кривая 1) перед обрушением. Сразу после обрушения консоли основной кровли опорное давление резко падает до минимума, ограниченного кривой 3, и процесс периодического изменения U_y продолжается до подхода лавы к рассматриваемому сечению

выработки. Таким изменениям опорного давления соответствуют почти пропорциональные скачки скоростей смещения пород в выработку.

Наибольший прирост смещений породного контура происходит тогда, когда сечение подготовительной выработки оказывается в непосредственной близости от лавы перед обрушением основной кровли. Следовательно, различные сечения одной и той же выработки будут подвергаться разным комбинациям изменения горного давления, и устойчивость разных участков выработки может существенно отличаться.

Это обстоятельство объясняет наблюдаемую на практике неравномерность распределения ремонтов и перекреплений по длине подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ. Следует отметить, что такая сложная зависимость проявлений горного давления в виде разных смещений и их скоростей стала источником появления разных, иногда почти противоположных и взаимоисключающих выводов о закономерностях распределения и концентрации опорного давления при ведении очистных работ.

Полученное решение и шахтные инструментальные наблюдения позволяют сформулировать следующие закономерности:

- на амплитуду и интенсивность смещений пород в подготовительной выработке существенным образом влияет вся предыстория изменения поля напряжений вокруг лавы;
- приближение очистного забоя к заданному сечению выработки перед лавой вызывает изменение скоростей смещений вдоль выработки, причем амплитуды скоростей смещений пород упорядоченно изменяются вдоль выработки в соответствии с осадками основной кровли в 4–5 раз, что свидетельствует о резких колебаниях концентрации опорного давления во времени;
- суммарные смещения (конвергенция) пород кровли и почвы в подготовительной выработке резко возрастают при увеличении длины консоли основной кровли и

уменьшении скорости подвигания лавы, причем устойчивость отдельных участков выработки может быть существенно различной из-за возможных вариантов чередования осадок основной кровли и скорости подвигания лавы.

Таким образом, имеется тесная связь между проявлениями горного давления в лаве и в ближайших подготовительных выработках. Влияние лавы на смещения пород в выработку зависит (при прочих равных условиях) от времени нахождения рассматриваемого сечения в зоне опорного давления, т. е. от соотношения протяженности зоны и скорости движения лавы.

Самым неблагоприятным случаем для устойчивости подготовительной выработки является сочетание труднообрушаемой кровли и слабых вмещающих пород. Поскольку протяженность зоны опорного давления пропорциональна длине консоли основной кровли (параметру L), при выборе ширины целиков для охраны выработок необходимо следить, чтобы оставшаяся длина консоли в лаве была минимальна.

Например, если наклонная выработка охраняется целиком шириной 40 м, а параметр осадки основной кровли $L = 30$ м, то, как следует из формулы (4), опорное давление, воздействующее на выработку перед осадкой основной кровли, равно $1,55 \gamma H$, после осадки уменьшится до $1,1 \gamma H$ (на 40%). Такое различие может заметно повлиять на устойчивость выработки.

Следовательно, при фронтальном приближении забоя лавы к наклонной выработке иногда предпочтительнее пойти на уменьшение ширины целика, двигая лаву ближе к выработке с тем, чтобы остановить выемочные работы сразу после момента осадки основной кровли, и тем самым добиться резкого снижения опорного давления, в зоне действия которого оказывается выработка.

Такой способ управления горным давлением позволит достигнуть снижения потерь угля в целиках при одновременном повышении устойчивости наклонных выработок

и исключении затрат на их ремонт и укрепление. Однако это потребует новой методики определения ширины целиков в зависимости от параметра L , совершенствования службы шахтных наблюдений за состоянием массива горных пород, причем сами целики приобретут не совсем привычный вид из-за переменной ширины вдоль охраняемой выработки, тогда как обычно их ширина постоянна и, по сути, мало обоснована с точки зрения охраны выработки, для которой целики были созданы.

При необходимости прогнозирования горного давления в подготовительной выработке во время приближения лавы следует использовать алгоритм расчета кинетики неупругого деформирования и разрушения горных пород, разработанный для капитальных выработок [6]. Его сущность заключается в том, что под действием концентрации напряжений вокруг выработки в породах начинается снижение прочности, подчиняющееся кинетическому уравнению роста поврежденности.

Для расчета горного давления в подготовительной выработке была разработана вычислительная процедура, реализованная на ЭВМ и позволяющая определить характерные особенности взаимодействия крепи и массива в зависимости от главных горнотехнических факторов.

На основе результатов расчетов создана таблица 1, по которой можно оценить податливость рамной или анкерной крепи, обладающей отпором 0,1 МПа, в выработке, попадающей в зону влияния очистных работ. В таблице смещения контура выработки даны на 10 м впереди лавы при столбовой системе разработки с учетом того, что в выработке до начала влияния очистных работ закончились процессы смещения пород.

Следует отметить, что расчеты проводились при осредненном значении L , истинные смещения будут периодически отклоняться от средних в большую или меньшую сторону по мере осадки основной кровли, и это различие будет тем

ГОРНЫЕ НАУКИ

больше, чем выше скорость движения лавы и ниже прочность вмещающих выработку пород. При использовании данных таблицы 1 следует иметь в виду, что в выработке до начала влияния очистных работ

закончились процессы смещения пород; буквой X обозначен завал выработки, когда отпора установленной крепи 0,1 МПа оказывается недостаточно и необходимы дополнительные охранные мероприятия.

Таблица 1 – Смещение контура подготовительной выработки в зоне вредного влияния очистных работ

Параметр L , м	Суточное подвигание лавы, м	Смещения контура выработки (см)								
		$H = 600\text{м}$			800м			1000м		
		при прочности пород кровли $\sigma_{\text{сж}}$, МПа								
		80	60	40	80	60	40	80	60	40
10	6	4,2	6,1	9,5	3,1	12	34	22	41	92
	3	4,7	7,5	12	11	23	41	25	54	X
	1	5,7	9,2	14	15	38	53	32	64	X
15	6	4,8	8,2	12	12	25	43	27	57	X
	3	6,1	9,1	13	15	31	55	33	80	X
	1	8,2	13	18	21	40	75	40	95	X
25	6	6,5	12	17	19	39	69	41	85	X
	3	8,7	16	28	27	52	91	55	98	X
	1	14	27	40	35	74	X	65	X	X
Нет лавы	–	3,1	4,7	5,5	18	14	19	15	29	52

Выводы.

На основе полученного решения и его применения для суждения об устойчивости выработок в зоне вредного влияния очистных работ можно отметить следующие закономерности:

- определяющее значение в величине концентрации горного давления в окрестности лавы принадлежит параметру L , который ранее не принимался во внимание;
- параметр L напрямую влияет на протяженность зоны опорного давления и интенсивность смещений кровли в выработку;
- при управлении проявлениями горного давления следует стремиться к уменьшению длины консоли основной кровли в лаве (например, изменяя ширину охранных целиков) и к росту скорости ее подвигания;
- при увеличении скорости лавы смещения в выработке уменьшаются и тем сильнее, чем меньше прочность пород вокруг выработки и больше глубина разработки;

- увеличение скорости очистного забоя приводит к заметному увеличению параметра кровли L и снижению частоты обрушений кровли, причем при достижении скорости лавы свыше 20-30 м/сутки обрушение кровли может полностью прекратиться и смениться плавным опусканием пород на почву выработки;

- переход на плавное опускание пород кровли в выработанном пространстве за счет высокой скорости лавы увеличивает зону раздавленного угля в забое, что существенно снижает энергоемкость отбойки угля и облегчает работу забойных машин;

- для ориентировочного определения смещений породного контура подготовительной выработки, пройденной перед фронтом очистного забоя и закрепленной податливой крепью, можно воспользоваться расчетными осредненными данными таблицы 1.

Библиографический список

1. Кузнецов С.В. Методология расчета горного давления / С.В. Кузнецов, В.Н. Одинцев, М.Э. Слоним, В.А. Трофимов. — М. : Наука, 1981. — 131 с.
2. Оловянный А.Г. Механика горных пород. Моделирование разрушений / А.Г. Оловянный. — СПб. : ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2012. — 280 с.
3. Якоби О. Практика управления горным давлением / О. Якоби. — М. : Недра, 1981. — 566 с.
4. Моссаковский В.И. Об одной смешанной задаче теории упругости для плоскости, ослабленной прямолинейной щелью / В.И. Моссаковский, П.А. Загубиженко. — ДАН СССР, т. CIV, № 3.
5. Мухелишвили Я.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Я.И. Мухелишвили. — М. : Наука, 1966. — 708 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонНТУ Борицевским С.В.

Статья поступила в редакцию 15.05.16.

д.т.н. Литвинський Г.Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН МАСИВУ ГІРСЬКИХ ПОРІД НАВКОЛО ЛАВИ

Розглянуто задачу про напружено-деформований стан масиву гірських порід в околиці очисного забою. Розрахункова схема задачі враховувала контактну взаємодію покрівлі і підповерхні у виробленому просторі лави. Отримано зручні аналітичні вирази для визначення концентрації опорного тиску попереду лави і в зоні обвалення порід до і після осідання основної покрівлі. Розкрито закономірності проявів гірського тиску в підготовчих виробках в зоні шкідливого впливу очисних робіт. Показано важливу роль параметра L , що характеризує зависання консолі основної покрівлі в лаві.

Ключові слова: очисні роботи, лава, напружений стан, опорний тиск, обвалення покрівлі, осадка основної покрівлі, вироблений простір, підготовча виробка.

PhD Litvinskiy Garry Grigorievich (DonSTU, Alchevsk, LPR)

STRESS-STRAIN STATE OF ROCK MASSIF AROUND LONGWALL

In the paper it has been shown the stress-strain state of rock massif around a longwall. The computational scheme of the problem has shown the direct contact between roof and soil in a longwall area. To determine bearing pressure concentration at the front of longwall and in the area of caved ground before and after the main roof settling the convenient analytical expressions were obtained. The regularities of rock pressure manifestation in development heading under negative influence of extraction zone have been found out. The important role of L -value, which characterizes starvation of the forepoling arm of the main support has been shown.

Key words: second-working, longwall, stress-strain state, bearing pressure, roof caving, main roof settling, worked-out area, development heading.

УДК 622.807.4.(088.8)

к.т.н. Степанов Е.И.,
к.т.н. Петров А.Г.,
к. психол.н. Авершин А.А.
(СУНИГОТ ЛГУ им. В. Даля, Стаханов, ЛНР,
ewg.stepanov2013@yandex.ru)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ В ЛАВЕ УВЛАЖНЕНИЕМ УГОЛЬНОГО МАССИВА

Для пылеподавления в лаве увлажнением угольного массива предложено новое технологическое оборудование. Нагнетание воды в массив через забойные шпуров осуществляется гидропреобразователями с электрическим управлением перемещения плунжеров. Источником воды и потребляемой энергии является пожарно-оросительная магистраль шахты. В забойные шпуров после нагнетания в угольный массив воды помещают ампулы с жидкостью, разрушение которых в процессе выемки угля повышает эффективность пылеподавления.

Ключевые слова: пылеподавление, угольный массив, забойные шпуров, увлажнение, гидропреобразователи, плунжеры, ампулы с водой.

Актуальность проблемы. При выемке угля происходит интенсивное пылеобразование, в связи с чем ухудшаются санитарно-гигиенические условия труда рабочих в очистном забое и повышается риск профессиональных заболеваний. Материалы обследования очистных забоев угольных шахт свидетельствуют о том, что, несмотря на достигнутые успехи в области пылеподавления, остаточная запыленность в лаве еще во много раз превышает предельно допустимые нормы [1, 2].

Снижение запыленности воздуха в лаве до уровня предельно допустимых концентраций возможно при комплексном применении различных способов предотвращения образования и снижения выделения пыли, а также обеспыливания рудничной атмосферы. Если разрабатываемые пласты опасны по пыли, газу и внезапным выбросам, то перед выемкой угля дополнительно осуществляется увлажнение-насыщение жидкостью угольного массива.

Увеличение глубины залегания разрабатываемых пластов приводит к тому, что даже безопасные пласты перестают быть таковыми. При этом предварительное увлажнение может стать обязательным и неотъемлемым мероприятием технологической цепи выемки полезного ископаемого [3, 4].

В отличие от большинства других методов борьбы с угольной пылью, которые направлены на её улавливание и связывание, предварительное насыщение жидкостью позволяет изначально уменьшить пылеобразование благодаря повышению влажности и смачиванию пыли.

Наиболее технологичным и приемлемым почти во всех геологических и технических условиях ведения горных работ является способ нагнетания жидкости в угольный массив через короткие шпуров из забоя лавы [5, 6].

К недостаткам способа следует отнести, как показывает практика [5], сложность технологического оборудования, крайне неравномерное распределение нагнетаемой увлажняющей жидкости в угольном массиве вокруг шпуров. Это приводит к снижению эффективности пылеподавления. Для улучшения качества увлажнения массива приходится увеличивать давление нагнетания и количество нагнетаемой жидкости, которое сложно дозировать. Естественное в этом случае стекание жидкости под действием сил тяжести к почве пласта, ее скапливание и просачивание в рабочее пространство лавы приводят к ухудшению санитарно-гигиенических условий труда (переувлажнению рабочего пространства), налипанию

мелких фракций разрушенного угля на очистное оборудование (заштыбовке его подвижных элементов), чрезмерному расходу жидкости и т.д.

Таким образом, наиболее перспективный способ предварительного увлажнения угольного массива путем нагнетания жидкости через забойные шпуров и необходимое для его реализации оборудование нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

Анализ публикаций. Существующая система нагнетания жидкости в угольный массив пласта для его увлажнения включает в себя высоконапорный гидронасос с приводом, регулирующую и предохраняющую гидроаппаратуру, гибкие гидромагистрали низкого и высокого давления, вспомогательные устройства и приспособления [3, 5, 7, 8].

Необходимость обеспечения высокого до 20...40 МПа давления при нагнетании воды в пласт требует применения мощных гидронасосов с большими габаритами, неприемлемыми в стесненных условиях очистного забоя.

В случае размещения гидронасоса в подлавной выработке возникает необходимость в протяженной, находящейся под высоким (опасным) давлением гидромагистрали в лаве. В случае же применения гидронасоса, перемещаемого по лаве от шпура к шпуру, возникают проблемы, особенно на тонких пластах, с подтягиванием, укладкой и защитой силового кабеля, питающего электропривод гидронасоса, или трубопровода в случае пневмопривода.

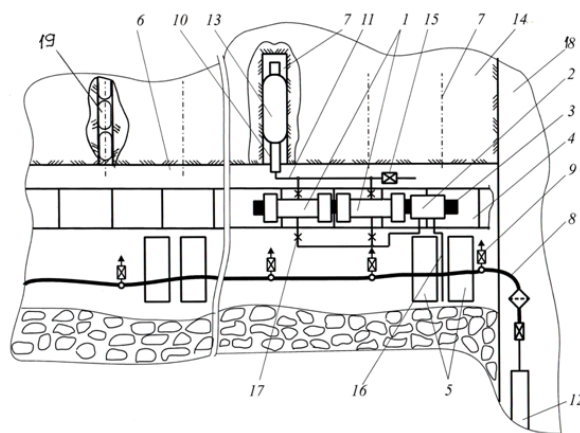
Очевидно, для увлажнения угольного массива через короткие (забойные) шпуров необходимо создать компактные мобильные технические средства нагнетания воды в угольный массив с безопасным приводом и коммуникациями, не требующими специального взрыво-искробезопасного исполнения.

Формулирование цели. Цель исследования – разработка технических решений по совершенствованию технологического оборудования для предварительного увлажнения угольного массива через забой-

ные шпуров и повышения эффективности пылеподавления в очистном забое.

Изложение основного материала. На кафедре горной электромеханики и транспортных систем Стахановского учебно-научного института горных и образовательных технологий ЛГУ им. В. Даля проведены исследования, по результатам которых предложены технологическая схема нагнетания жидкости в угольный массив (рисунок 1) с применением гидропреобразователей, структурно-гидравлическая схема подключения гидропреобразователей (рисунок 2) и соответствующая технологическая оснастка. Техническое решение конструктивного исполнения гидропреобразователя защищено патентом Украины [9]. Нумерация обозначений в схемах одна и та же.

Согласно технологической схеме после обустройства очистного забоя 6 лавы шпуров 7 на глубину зоны разгрузки призабойной части угольного массива 14 пласта



- 1 - гидропреобразователь; 2 - электрогидрораспределитель; 3 - кронштейн; 4 - конвейер лавы; 5 - секции механизированной крепи; 6 - линия очистного забоя; 7 - шпуров; 8 - гибкий трубопровод; 9 - краны; 10 - полая штанга; 11 - гибкий трубопровод высокого давления; 12 - пожарно-оросительный трубопровод; 13 - герметизатор; 14 - угольный массив; 15 - кран сброса давления; 16 - шланг сброса жидкости; 17 - обратные клапаны; 18 - подготовительная выработка; 19 - эластичные ампулы.

Рисунок 1 – Технологическая схема нагнетания жидкости в массив угля

гидропреобразователи 1 с электрогидрораспределителем 2 закрепляются на кронштейне 3 и перемещаются вдоль линии очистного забоя 6. Кронштейн 3 перемещается от шпура к шпуру по ставу конвейера 4 лавы, оборудованной секциями 5 механизированной крепи, или в рабочем пространстве между гидростойками секций 5. Гидропреобразователи 1 с электрогидрораспределителем 2 поочередно подключаются к гибкому трубопроводу 8 через краны 9 со стороны низкого давления и к штангам 10 через гибкий трубопровод 11 со стороны высокого давления. Открывается кран 9, и с пожарно-оросительного трубопровода 12 гидропреобразователями 1 через гибкий трубопровод 11, штангу 10 и загерметизированный герметизатор 13 шпур 7 в угольный массив 14 нагнетается жидкость. Давление нагнетаемой жидкости составляет 20 МПа; время нагнетания 5-10 мин.; расход жидкости на шпур 15-25 л. Для сброса давления открывается кран 15, что позволяет отключиться от трубопровода 8 и штанги 10 шпура. Кронштейн с гидропреобразователями перемещается к другому шпуру.

Процесс нагнетания воды под давлением в угольный массив и принцип работы гидропреобразователей можно представить из анализа структурно-гидравлической схемы (рис. 2.).

Жидкость под давлением порядка 0,6-0,8 МПа поступает из трубопровода 12 через электрогидрораспределитель 2 в полости большого диаметра 20 нижнего гидропреобразователя 1.

Под действием воды плунжеры сдвигаются, жидкость из штоковой полости 21 гидропреобразователя 1 свободно сливается (сбрасывается) в дренаж через трубопровод 16, а из полости малого диаметра 22 под давлением поступает через обратный клапан 17, трубопровод 11 и штангу 10 в шпур 7, а затем и в угольный массив. После истощения хода плунжера и переключения электрогидрораспределителя 2 жидкость под давлением подается в полость 21, а из полости 20 дренажируется, т. е. осуществляет-

ся холостой ход плунжера. После этого рабочий цикл повторяется. Работа верхнего гидропреобразователя 1 осуществляется аналогично.

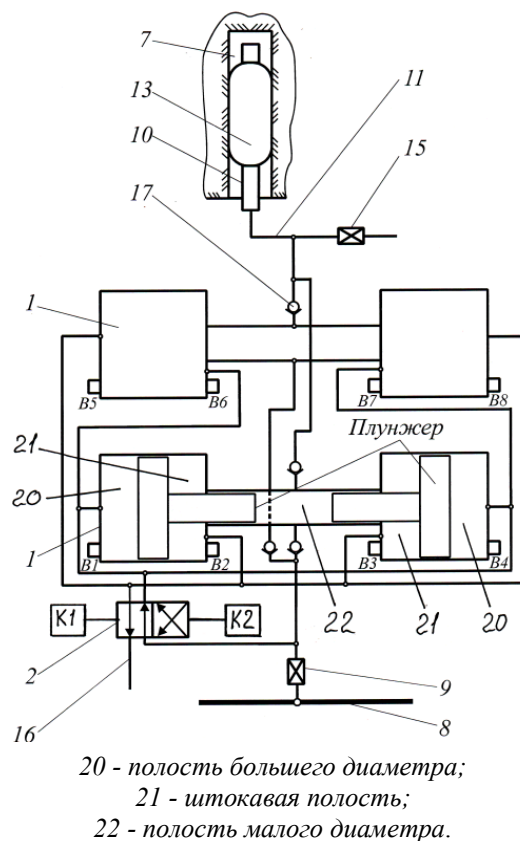


Рисунок 2 – Структурно-гидравлическая схема подключения гидропреобразователей

Переключение электрогидрораспределителя 2 осуществляется посредством электромагнитных приводов К1 и К2, работа которых синхронизирована с работой гидропреобразователей. Мощность электромагнитного привода при номинальном напряжении источника постоянного тока 12 В, составляет 4 Вт.

Электромагнитный привод К1 включается при замыкании контактов игольчатых концевых выключателей В6, В7, В1, В4, а электромагнитный привод К2 – при замыкании контактов В2, В3, В5, В8.

Нагнетание жидкости в пласт каждым гидропреобразователем 1 и рабочий ход его плунжеров прекращаются при достижении равенства $F_1 = F_2$ где F_1, F_2 – силы,

давления в полостях 20 и 22. Максимальное давление жидкости в шпуре 7 зависит от конструктивно-технологических параметров системы (величины давления в пожарно-оросительном трубопроводе, размеров площадей торцевых поверхностей плунжеров, состояния гибкого трубопровода высокого давления и пр.). Например, при размерах площадей большей торцевой поверхности плунжера, равной $0,07 \text{ м}^2$, и меньшей – $0,002 \text{ м}^2$, максимальное давление нагнетания составляет 28 МПа. При давлении нагнетания порядка 15-20 МПа и ходе плунжера 0,25 м подача достигает 14 л/мин.

Дозированная и контролируемая подача воды в угольный массив позволяет избежать его перенасыщения нагнетаемой жидкостью и последующего переувлажнения рабочего пространства лавы. Для компенсации недостающего количества воды, необходимого для смачивания отбитого угля, после окончания процесса нагнетания её в угольный массив 14 на всю глубину забойных шпуров 7 помещаются эластичные ампулы 19 с жидкостью. Очистной комбайн при работе в забое разрушает эластичные ампулы, осуществляя таким

образом дополнительное увлажнение отбитого угля.

Таким образом, к достоинствам разработанного устройства нагнетания воды в пласт угля следует отнести: 1) компактность, 2) мобильность, 3) отсутствие электромеханического привода и, следовательно, полную искро-взрывобезопасность, 4) простоту компоновки технологической оснастки, 5) повышение безопасности и сокращение времени проведения предварительного увлажнения, 6) дозированную и контролируемую подачу жидкости.

Выводы и направления дальнейших исследований. Предлагаются новые технические решения при создании устройства для нагнетания жидкости в массив угля на основе работающих от пожарно-оросительной магистрали шахты гидропреобразователей с электрическим управлением перемещения плунжеров. Эффективность пылеподавления может быть достигнута в результате рационального сочетания количества жидкости, нагнетаемой в пласт, и жидкости, депонированной в ампулах для дополнительного орошения при их разрушении исполнительным органом комбайна в процессе выемки угля.

Библиографический список

1. Державні санітарні правила та норми. Підприємства вугільної промисловості: ДСП 3. 3. 1. 095 – 2002. — К., 2003.
2. Положення про порядок розслідування і ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10. 0–1. –10. — К., 2010.
3. Олифиренко А.И. Насосная установка для борьбы с газодинамическими явлениями / А.И. Олифиренко, С.В. Никитин // Уголь Украины. — 2007. — №11. — С. 26–28.
4. Зборищик М.П. Предотвращение притоков метана в призабойное пространство высоконагруженных лав / М.П. Зборищик // Уголь Украины. — 2012. — №12. — С. 11–16.
5. Мхатвари Т.Я. Оптимизация параметров и технологии гидрорыхления угольных пластов / Т.Я. Мхатвари, А.А. Потапенко, С. П. Минеев // Уголь Украины. — 2014. — №4 — С. 25–28.
6. А. с. 614238 СССР, МКИ E21F 5/02. Способ предварительного увлажнения призабойной зоны разрабатываемого пласта / Ю.И. Шумко, Ю.В. Деев. — Опубл. 05.07.78, Бюл. №25.
7. Иверовский Е.Н. Насосные станции механизированных угледобывающих комплексов / Е.Н. Иверовский // Уголь Украины. — 2007. — № 4. — С. 19–20.
8. Степанов Е.И. Конструктивно-гидравлическая схема гидростанции для механизированных крепей / Е.И. Степанов, А.А. Амирахов, А.А. Рогов // Уголь Украины. — 2010. — №2. — С. 17–18.

9. Пат. 54776 Україна, МПК E21D 23/16. Гідросистема секції механізованого кріплення /Авершин А.О., Тугай В.В., Амірахов А.А., Степанов Є.І.; заявник і патентовласник УПА. — №и2010 05651; заявл. 11.05.2010; опубл. 25.11.2010, Бюл. №2.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. Дон ГТУ Корнеевым С.В.,
к.т.н., приват - проф. СУНИГОТ ЛГУ им. В. Даля Кузьмичом А.К.**

Статья поступила в редакцию 21.04.16.

**к.т.н. Степанов Є.І., к.т.н. Петров О.Г., к.психол.н. Авершин А.О. (СНИГОТ ЛДУ
ім. В. Даля, м. Стаханов, ЛНР).**

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ ПИЛОЗАГЛУ- ШЕННЯ У ЛАВІ ЗВОЛОЖЕННЯМ ВУГІЛЬНОГО МАСИВУ

Для пилозаглушення у лаві зволоженням вугільного масиву запропоновано нове технологічне обладнання. Нагнітання води в масив через забійні шпури здійснюється гідроперетворювачами з електричним управлінням переміщення плунжерів. Джерелом води і споживаної енергії є пожежно-зрошувальна магістраль шахти. У забійні шпури після нагнітання у вугільний масив води поміщають ампули з рідиною, руйнування яких в процесі виймання вугілля підвищує ефективність пилопригнічення.

Ключові слова: пилопригнічення, вугільний масив, забійні шпури, зволоження, гідроперетворювачі, плунжери, ампули з водою.

**PhD in Engineering Stepanov E.I., PhD in Engineering Petrov A.G., PhD in Psychology Aver-
shin A.A. (Stakhanov Educational and Scientific Institute of Mining and Educational Technology affil-
iated with Dalia Lugansk State University, Stakhanov, LPR).**

IMPROVEMENT OF MINE DUST CONTROL EQUIPMENT IN A WALL BY MOISTENING A COAL MASSIF

*For dust control in a wall by moistening a coal massif new mining equipment is proposed. Hydraulic transformers with shifting electrical control pistons supply water through blast holes. Fire and irrigat-
ing main line has been a source of water and consumed energy. After water has been pumped into coal
massif the ampoules with water are put into blast holes, which destruction within the process of coal
production increases the efficiency of dust control.*

Key words: dust control, coal massif, blast holes, moistening, hydraulic transformers, pistons, am-
poules with water.

УДК 622.837

к.т.н. Ларченко В.Г.,
Коваленко Е.В.,
Маталкина Ю.А.
(Дон ГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНЫХ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ШИРИНЫ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

По результатам натурных наблюдений в горно-геологических условиях шахты Западного Донбасса установлена зависимость максимальных сдвижений и деформаций земной поверхности от ширины выработанного пространства.

Ключевые слова: максимальные оседания, наклоны, горизонтальные сдвижения и деформации земной поверхности, натурные наблюдения, ширина выработанного пространства, зависимость.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Одной из основных задач маркшейдерской службы горных предприятий при подземной разработке месторождений полезных ископаемых является выбор оптимальных мер охраны подрабатываемых сооружений и коммуникаций земной поверхности, основой которого являются максимальные величины сдвижений и деформаций горных пород. Достоверно определить параметры сдвижений и деформаций земной поверхности можно только натурными инструментальными наблюдениями или автоматической наблюдательной станцией [1-4].

С увеличением глубины подработки распространяется область влияния очистных работ на земную поверхность, длины полумульд и профильных линий, общая продолжительность процесса сдвижения, что вызывает повышение трудоемкости и стоимости маркшейдерских инструментальных наблюдений.

Поэтому определение зависимости максимальных сдвижений и деформаций земной поверхности от размеров выработанного пространства является актуальной научной и практической задачей и соответствует тематике исследований кафедры маркшейдерии, геодезии и геологии Дон ГТУ.

Постановка задачи.

Задачей исследований является установление закономерности и зависимости

максимальных сдвижений и деформаций земной поверхности от размеров выработанного пространства над движущимся очистным забоем.

Изложение материала и его результаты.

Как результат многолетних исследований в "Правилах подработки..." [5] приведена методика расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности, учитывающая коэффициентами подработанности N_1 и N_2 размеры выработанного пространства по падению и простиранию пласта после окончания процесса сдвижения. Закономерности распределения и величины максимальных сдвижений и деформаций земной поверхности в течение всей продолжительности процесса сдвижения в динамической полумульде изучены недостаточно, поэтому их исследования являются актуальными.

Проанализируем результаты частотных равноточных инструментальных наблюдений (невязка геометрического нивелирования при всех 44 наблюдениях на станции № 13 никогда не превышала ± 2 мм на 1 км хода, что в 5 раз меньше допустимой [6], а относительная погрешность линейных измерений меньше $1/10000$, что соответствует требованиям [6]), выполненных одним из авторов, по наблюдательной станции №13 над лавой 604 пласта S_6 шахты "Степная" ПО "Павлоградуголь" в следующих горно-геологических условиях: длина лавы

$D_2 = 184\text{м}$; средняя глубина $H=112\text{м}$; вынимаемая мощность пласта $m=0,91\text{м}$; управление кровлей – полное обрушение; средняя скорость подвигания очистного забоя $V=63\text{м/мес.}$; мощность обводненных четвертичных отложений $h=47\text{м}$; отношение длины лавы D_2 к средней глубине подработки H составляет 1,64 (условие полной подработки); угол падения пласта 5° . В

слабых породах Западного Донбасса наблюдательные станции 12 и 13 можно сравнить с "природными лабораториями", (рис. 1), где максимальная скорость оседаний грунтовых реперов земной поверхности достигала 66 мм/сут. , а общая продолжительность процесса сдвижения по критерию наклонов составила около 3 месяцев.

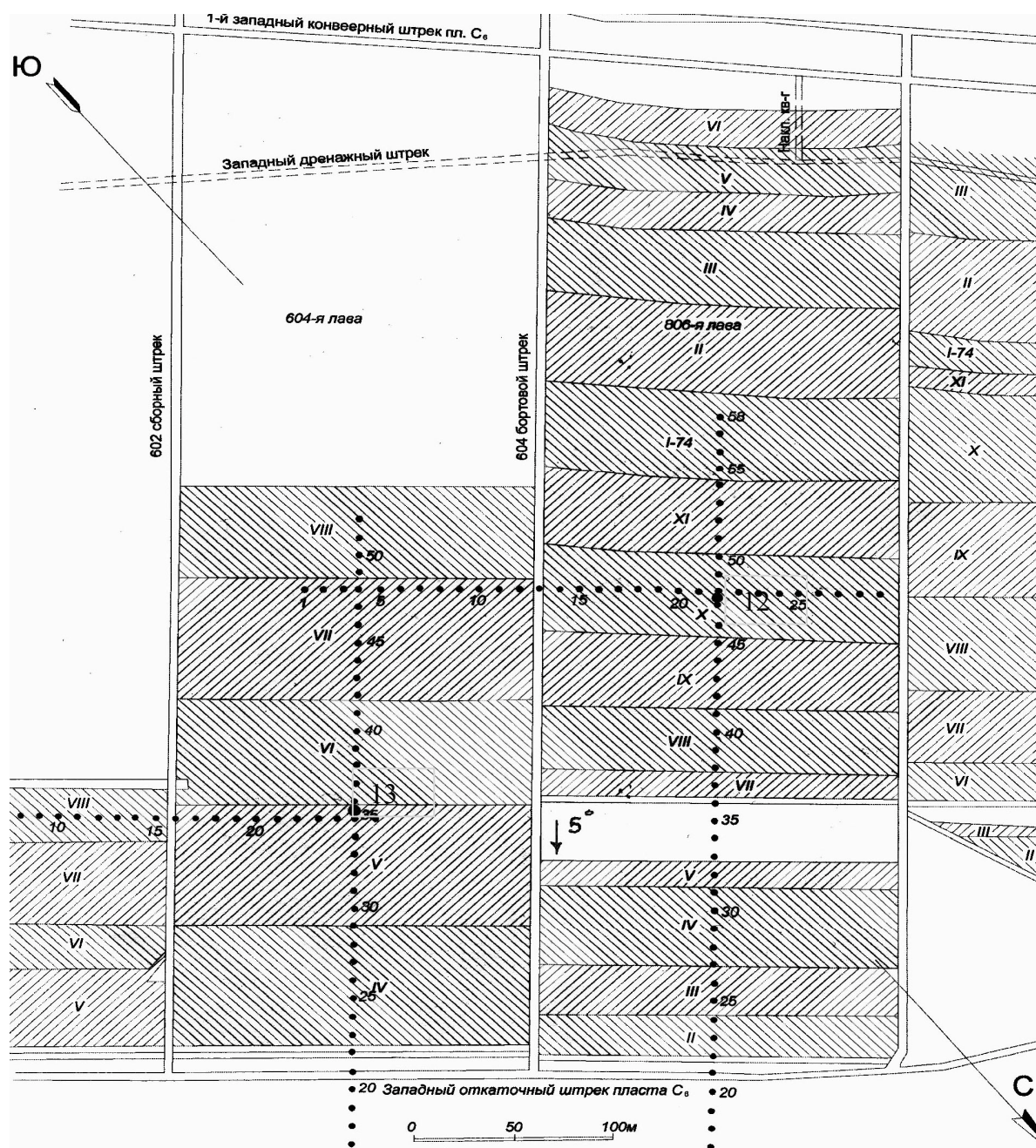


Рисунок 1 – План наблюдательных станций № 12 и 13

По результатам математической обработки наблюдений построены графики максимальных оседаний η_m , наклонов i_m , горизонтальных сдвижений ξ , деформаций сжатий $-\varepsilon$ и растяжений $+\varepsilon$ (рис. 2) в главном сечении мульды по профильной линии, расположенной перпендикулярно к линии очистного забоя по станции №13, отражающие зависимость перечисленных максимальных параметров от ширины выработанного пространства D_1 при постоянной длине лавы D_2 .

При глубине разрезной печи 117 м процесс сдвижения достиг земной поверхности при отходе очистного забоя от целика на величину, равную $0,1 D_1/H$. С увеличением размера D_1 выработанного пространства максимальные оседания η_m , горизонтальные сдвижения ξ и наклоны i_m в сторону восстания пласта, горизонтальные деформации растяжений $+\varepsilon$ постоянно и однозначно увеличивались от нуля до максимальных значений (рис. 2).

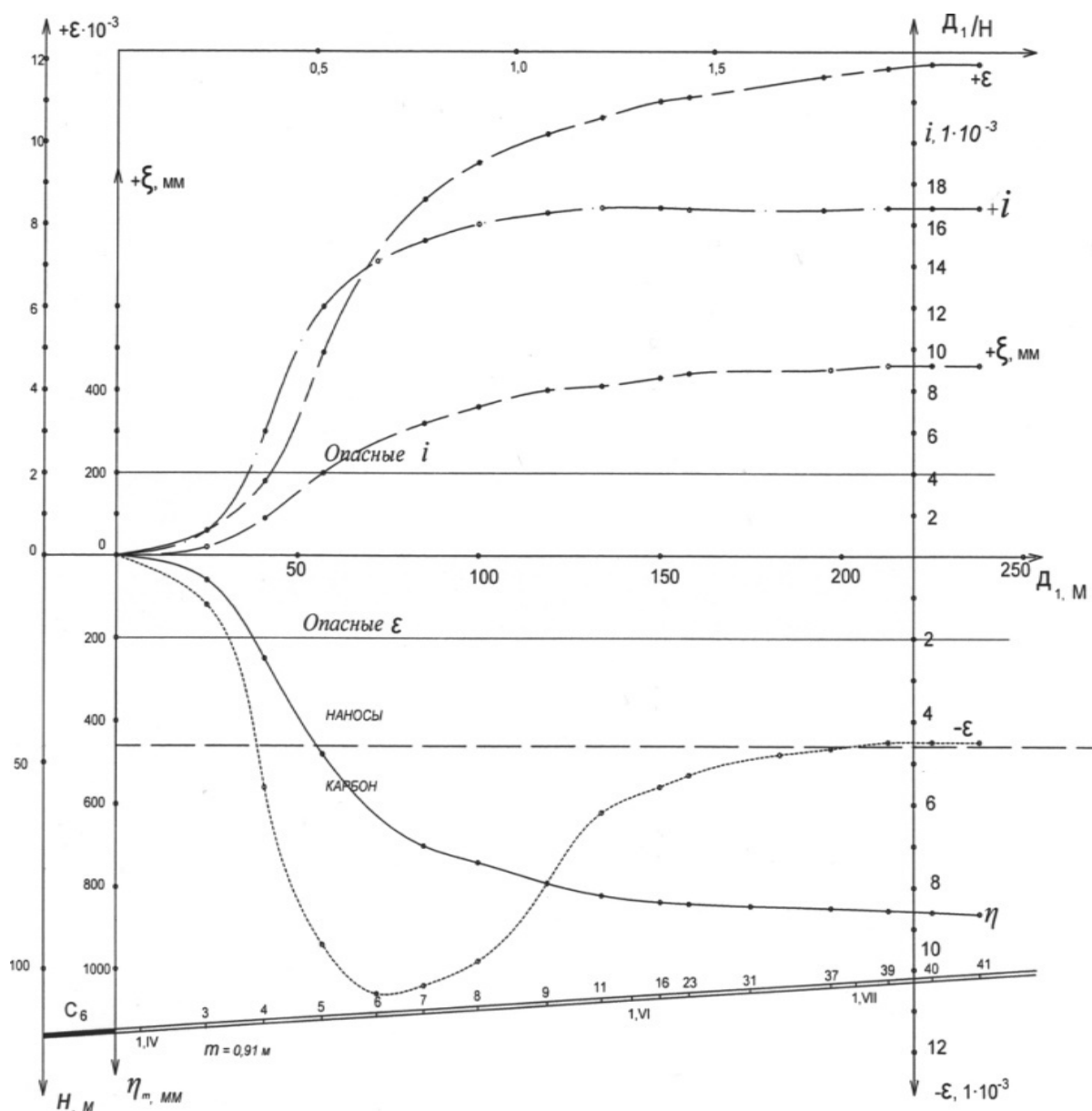


Рисунок 2 – Графики зависимости: максимальных оседаний (η); наклонов (i); горизонтальных сдвижений (ξ); деформаций растяжений ($+\varepsilon$) и сжатий ($-\varepsilon$) земной поверхности от размеров выработанного пространства D_1 над лавой № 604 шахты "Степная"

Исключение составляют горизонтальные деформации сжатий и, аналогично, кривизна вогнутости, которые при отношении D_1/H в интервале $(0,6 \div 0,7)$ достигают максимальных значений как результат суммирования однозначных деформаций (рис. 3, а) в полумульде над разрезной печью (рис. 3, б) и образующейся в этот момент динамической полумульды (рис. 3, в).

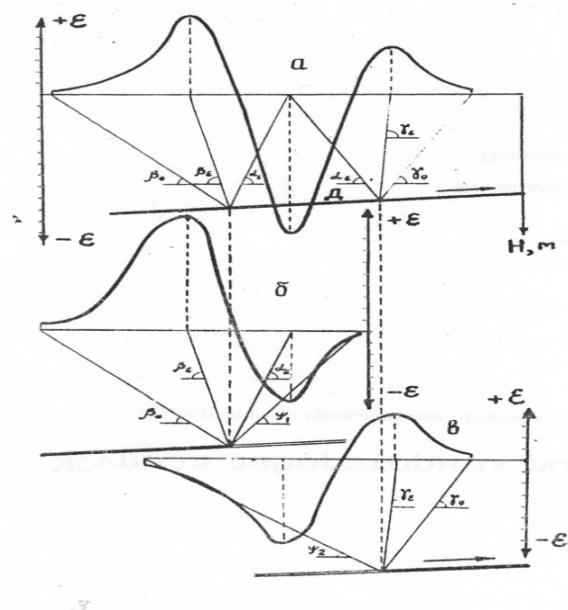


Рисунок 3 – Схема сложения горизонтальных деформаций сжатий: а - при D_1/H , равном $(0,6 - 0,7)$ Н; б - в полумульде над разрезной печью; в - над образующейся динамической полумульдой

При дальнейшем увеличении размеров выработанного пространства горизонтальные деформации сжатий и, аналогично, кривизна вогнутости на участке их концентрации уменьшаются более чем в 2 раза (рис. 2, кривая $-\epsilon$), поэтому без частотных наблюдений их суммирование долгое время оставалось незафиксированным. Аналогичные процессы установлены и по простиранию пласта при отношениях длины лавы (или спаренных лав) D_2 к глубине подработки H в интервале $0,6 \div 0,7$ как результат суммирования однозначных деформаций от двух образующихся полумульд: по простиранию пласта и обратном положительному направлению простирания пласта. В этих случаях уменьшение указанных суммарных деформаций происходит только при прохождении смежной лавы.

Опасных для сооружений деформаций первыми достигают сжатия $(-2 \cdot 10^{-3})$, затем наклоны $(4 \cdot 10^{-3})$ и, чуть позже, – растяжения $(2 \cdot 10^{-3})$, рис. 2) [5].

В образовавшейся динамической полумульде процесс сдвижения синхронно перемещается подобно волне над движущимся очистным забоем (рис. 4), где каждая точка земной поверхности в главном сечении мульды движется по определенной траектории (рис. 5), но скорость сдвижений и деформаций V_0 пропорциональна скорости подвигания очистного забоя C (рис. 6), а над разрезной печью увеличиваются горизонтальные сдвиги.

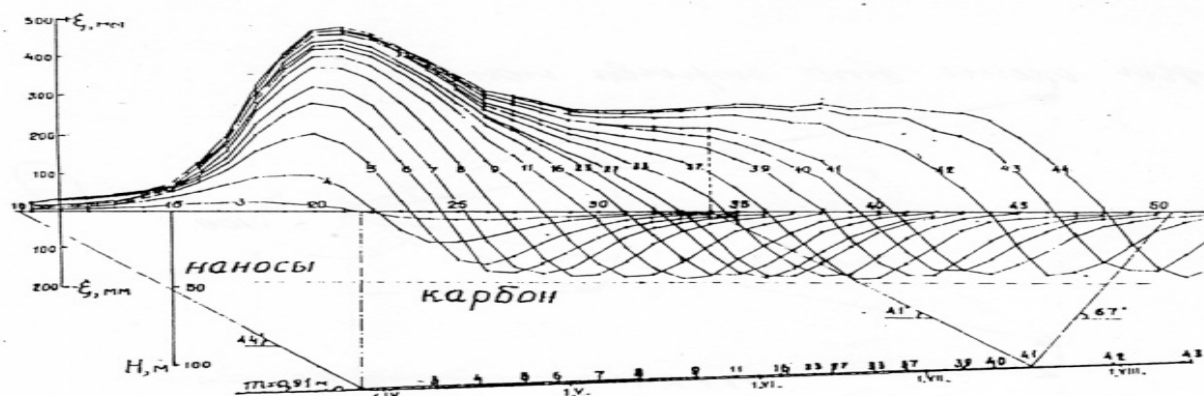


Рисунок 4 – Кривые горизонтальных сдвижений земной поверхности по станции № 13

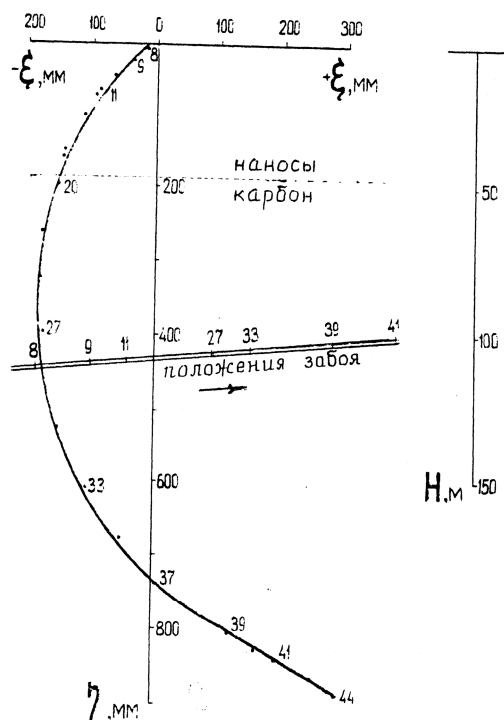


Рисунок 5 – Траектория полного вектора сдвижения грунтового репера № 36 станции № 13 над движущимся очистным забоем

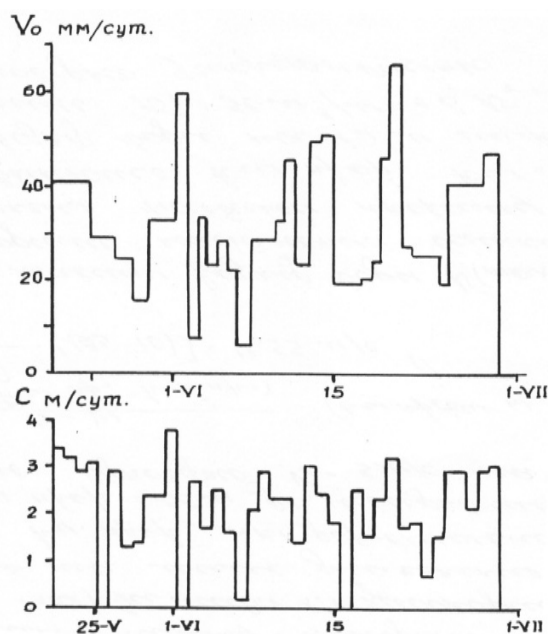


Рисунок 6 – Гистограммы скорости подвигания очистного забоя (C) и максимальной скорости оседания земной поверхности V_0 по станции № 13 шахты "Степная"

Увеличение наклонов и горизонтальных сдвижений после отношения D_1/H более 1,2 практически замедляется, а при D_1/H более 1,6 процесс сдвижения земной поверхности над разрезной печью заканчивается. Максимальное оседание репера № 46 при полной подработке с учетом дренирования обводненных наносов и депрессионной воронки (до 30 мм) составило 935 мм, что превышает вынимаемую мощность пласта $m = 0,92$ м под ним. Максимальные горизонтальные сдвижения достигли 480 мм, что составило 52% вынимаемой мощности пласта. Максимальные наклоны составили $17 \cdot 10^{-3}$, что более чем в 4 раза превышает опасные для сооружений. Максимальные горизонтальные деформации составили $12 \cdot 10^{-3}$, что в 6 раз превышает опасные для зданий и инженерных сооружений [5].

Выводы. По результатам равнооточных маркшейдерских наблюдений в горно-геологических условиях шахты "Степная" установлены закономерности и зависимости максимальных сдвижений и деформаций земной поверхности от ширины выработанного пространства D_1 в главном сечении мульды, что имеет практическое и научное значение. Научная новизна заключается в установленных точными натурными наблюдениями закономерностях, очередности появления и зависимостях максимальных сдвижений и деформаций земной поверхности от ширины выработанного пространства при постоянных горно-геологических условиях, длине лавы в течение общей продолжительности процесса сдвижения над движущимся очистным забоем при условии полной подработки.

Установленные закономерности и зависимости частично применимы в Центральном и Восточном Донбассе, где выполнить аналогичные натурные наблюдения весьма сложно, так как при глубинах более 300 м полной подработки по простиранию пласта от одной лавы не может быть, отработать панель двумя спаренными лавами затруднительно, а продолжительность процесса сдвижения и

трудоемкость наблюдений многократно увеличиваются.

Полученные достоверные результаты необходимы маркшейдерской службе шахт

и проектных организаций для выбора оптимальных мер охраны подрабатываемых сооружений земной поверхности.

Библіографічний список

1. Ларченко В.Г. Автоматическая наблюдательная станция для мониторинга сдвижений и деформаций горных пород / В.Г. Ларченко, О.М. Куценко, Ю.А. Маталкина // Сб. науч. трудов Дон ГТУ, 2015. — Вып. 1 (44). — С. 49–55.
2. Пат. 89230 и Украина, МПК GOIC 15/02. Запірна станція для досліджень деформацій товщі порід, що підробляється / В.Г. Ларченко, О.М. Куценко; заявник і патентовласник ДонДТУ. - и 2013 13815; заявл. 28.11.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. №7. — 4 с.
3. Пат. 35377 и Украина, МПК GOIC 3/08. Пристрій для вимірів горизонтальних і вертикальних деформацій товщі порід і споруд земної поверхні / В. Г. Ларченко, Н. В. Хоружая; заявник і патентовласник ДонДТУ. — и 2008 13815; заявл. 30.04.2008; опубл. 10.09.2008, Бюл. №17. — 4 с.
4. Пат. 47899 и Украина, МПК GOIC 3/08. Спосіб підвищення точності спостережень за горизонтальними деформаціями земної поверхні і споруджень, які підробляються / В. Г. Ларченко, Н. В. Хоружая; заявитель і патентовласник ДонДТУ. — и 2009 09875; заявл. 28.09.2009; опубл. 25.02.2010, Бюл. №4. — 4 с.
5. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом // М-во палива та енергетики України. — Київ, 2004. — 127 с.
6. Методические указания по наблюдениям за сдвижением пород и за подрабатываемыми сооружениями / Л-д, ВНИМИ, 1978. — 183 с. — (М-во угол. пром-ти СССР ВНИМИ).

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Литвинским Г.Г.,
Главным маркшейдером шахты им. XIX съезда КПСС Кияненко Н.А.*

Статья поступила в редакцию 20.05.16.

к.т.н. Ларченко В.Г., Коваленко О.В., Маталкіна Ю.А. (ДонДТУ, м Алчевськ, ЛНР)

ЗАЛЕЖНІСТЬ МАКСИМАЛЬНИХ ЗРУШЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ВІД ШИРИНИ ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ

За результатами натурних спостережень в гірничо-геологічних умовах шахти Західного Донбасу встановлена залежність максимальних зрушень і деформацій земної поверхні від ширини виробленого простору.

Ключові слова: максимальні осідання, нахили, горизонтальні зрушення і деформації земної поверхні, натурні спостереження, ширина виробленого простору, залежність.

PhD in Engineering Larchenko V.G., Kovalenko E.V., Matalkina Yu.A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

DEPENDENCE OF MAXIMUM SHIFT AND EARTH CRUST DEFORMATION ON WIDTH OF WORKED-OUT AREA

On the basis of naturalistic observations at geological mine conditions in western Donbass the dependence of maximum shift and earth crust deformation on width of worked-out area is determined.

Key words: maximum setting, incline, horizontal shift and earth crust deformation, naturalistic observations, width of worked-out area, dependence.

УДК 622.413.4

к.т.н. Денисенко В.П.,
Чинчак О.О.,
Павленко М.Ю.,
Тетеря Е.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ В ВЫРАБОТКАХ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ ГЛУБОКИХ АНТРАЦИТОВЫХ ШАХТ ДОНБАССА

Дан прогноз ожидаемой температуры воздуха и предложены технические решения по нормализации тепловых условий в выработках глубоких шахт. Обоснованы параметры технологических схем рассредоточенного охлаждения воздуха в выработках выемочного участка.

Ключевые слова: угольная шахта, антрацитовые пласты, тепловой режим, охлаждение рудничного воздуха

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время на 30 шахтах Донецкого бассейна горные работы ведутся на глубинах от 1000 до 1350 м. Температура горного массива на отработываемых горизонтах составляет 40-45°C. Антрацитовые шахты центральных и восточных районов Донбасса по температурному фактору относятся к категории шахт с особо вредными и тяжелыми условиями труда. В лавах на глубинах 1000-1200 м температура рудничного воздуха составляет 32-36°C, в тупиковых подготовительных выработках – 36-40°C, относительная влажность равна 86-88 %; при этом неблагоприятные климатические условия наблюдаются как в летний, так и в зимний периоды года [1]. Тяжелые климатические условия работы в выработках отрицательно сказываются на здоровье горнорабочих, обеспечении безопасности (могут приводить к перегреву и тепловым ударам), производительности труда и снижении технико-экономических показателей производства. Это вызывает необходимость реализации эффективных мер борьбы с высокими температурами воздуха в глубоких шахтах.

На практике основным средством борьбы с высокими температурами воздуха является вентиляция, эффективность которой достигается за счет: подачи в действующие забои расчетного количества воздуха с определен-

ным запасом, применения прямоточных схем проветривания отдельных частей шахтного поля или шахты в целом, применения на выемочных участках рациональных схем по тепловому фактору с полным разбавлением вредностей по источникам. Применяют отдельные горнотехнические мероприятия, снижающие теплопритоки в выработки, за счет частичной изоляции выработанного пространства воздухопроницаемыми полосами, выноса электрооборудования на исходящую струю и прочее. В отдельных случаях при напряженном тепловом режиме применяют передвижные шахтные кондиционеры.

Основой для проектирования противо-тепловых мероприятий является прогноз ожидаемых температур воздуха применительно к конкретным горно-геологическим и технологическим условиям шахты, установление удельного веса основных источников тепла в тепловом балансе выработки и определение величины холодопотребности забоя [2]. Полученные на основе прогнозных тепловых расчетов данные позволяют на этапе проектирования дифференцированно подойти к выбору рациональных технических решений и обоснованию их параметров.

Опыт показывает, что нормализация тепловых условий в глубоких шахтах может быть достигнута путем комплексного приме-

нения горнотехнических мероприятий, искусственного охлаждения воздуха с учетом норм шахтного микроклимата, дифференцированных по времени и степени тяжести труда [3]. Порядок применения способов и средств борьбы с повышенными температурами приведен в нормативном документе [4].

Постановка задачи. Прогнозирование тепловых условий глубоких горизонтов трех антрацитовых шахт, разработка рациональной технологической схемы нормализации тепловых условий выемочных участков и обоснование ее параметров явились задачей данной работы.

Изложение материала и его результаты. В качестве объектов проектирования приняты шахты «Прогресс», им. Я. М. Свердлова и «Должанская-Капитальная». Перспективными планами развития горных работ этих шахт предусмотрены подготовка выемочных полей к отработке на глубинах 1300 м и более, увеличение нагрузок на очистные забои до 2000 т/сут. с использованием производительного очистного и проходческого оборудования.

В тектоническом отношении поле шахты «Прогресс» приурочено к восточному замыканию Торезско-Снежнянской синклинали, поля шахт им. Я. М. Свердлова и «Должанская-Капитальная» – к донной части и южному крылу Должано-Ровенецкой синклинали. Условия разработки антрацитовых пластов приведены в таблице 1.

На шахтах применяют столбовые системы разработки при погоризонтном способе подготовки с отработкой выемочных столбов механизированными комплексами по

восстанию и падению. Схемы проветривания выемочных участков – прямоточные с полным разбавлением вредностей по источникам выделения. Основным источником выделения тепла в рудничную атмосферу антрацитовых шахт являются вмещающие пласт породы и работающие машины и механизмы. Окислительные процессы практически не влияют на нагрев воздуха в связи с низкой химической активностью антрацита по отношению к кислороду воздуха.

Исследования и опыт работы шахт на глубоких горизонтах показали, что температура воздуха в действующих забоях подготовительных выработок, когда в них не работают машины и механизмы, практически равна температуре вмещающих пород и определяется по формуле:

$$t_n = t_{н.с.} + \Gamma \left(\frac{H - H_{н.с.}}{100} \right), ^\circ\text{C} \quad (1)$$

где $t_{н.с.}$ – температура нейтрального слоя пород, для условий Донбасса – 8,5 °С;

H – глубина заложения выработки, м;

$H_{н.с.}$ – глубина залегания нейтрального слоя пород, м, $H_{н.с.} = 30$ м;

Γ – геотермический градиент, 2,3-2,4 °С/100 м.

При выполнении технологических операций по проведению выработки температура воздуха в забое изменяется в зависимости от способа проведения и вида технологического оборудования:

$$t_g = t_n \pm \Delta t, ^\circ\text{C} \quad (2)$$

Таблица 1 – Условия разработки антрацитовых пластов

Наименование шахты	Глубина разработки, м		Индекс пласта	Мощность пласта, м	Угол падения, град.	Длина лавы, м	Планируемая нагрузка, т/сут.
	фактическая	плановая					
«Прогресс»	1150	1250	h_8	1,30	8 - 10	200	1940
им. Я. М. Свердлова	1160	1200	k_5^1	1,15	6 - 7	200	1890
«Должанская-Капитальная»	920	1300	l_3	1,20	2 - 7	200	1900

где Δt – повышение или снижение температуры воздуха; °C, $\Delta t = 2$ °C – при буровзрывном способе проходки; $\Delta t = 3$ °C – при комбайновой проходке; $\Delta t = -2$ °C – при применении технологического оборудования с пневматическим приводом.

Температура воздуха в лавах закономерно возрастает при движении воздуха вдоль очистного забоя за счет тепловыделения из массива угля и пород, от работающего технологического оборудования и из угля, транспортируемого по лаве.

Результаты тепловых расчетов при отсутствии искусственного охлаждения воздуха, проведенные в соответствии с методическими рекомендациями [2], представлены в таблице 2 и на рисунке.

Анализ прогнозных данных показывает, что температура воздуха на выходе из лав при освоении глубоких горизонтов составит 37,4-41,1°C. Это превышает ее регламенти-

руемые значения [5] на 11,4-15,1°C. В ремонтно-подготовительные смены температура воздуха на выходе из лав составит соответственно 34,4-38,0°C. При прочих равных условиях величина температуры рудничного воздуха в лаве и интенсивность ее приращения по длине очистного забоя зависят от технологических параметров очистной выемки (уровень добычи угля, скорость подвигания, электрическая мощность оборудования) и параметров проветривания выемочного участка (расход воздуха, скорость движения, величина утечек воздуха через выработанное пространство, температуры входящего в лаву воздуха).

Для нормализации тепловых условий в лавах необходимо искусственное охлаждение воздуха. Исследованиями МакНИИ установлено, что снижение температуры воздуха на выходе из лавы с 35-40°C до 26°C за счет применения штрековых воз -

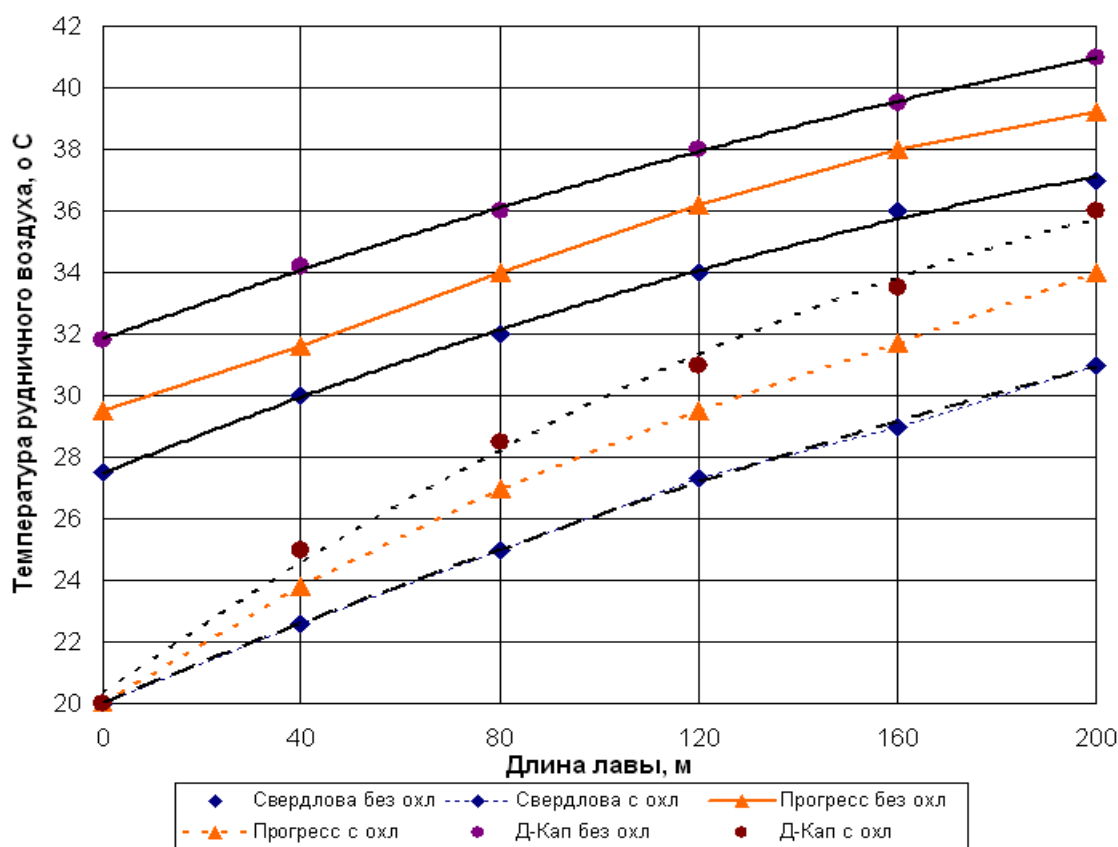


Рисунок – Изменение температуры воздуха вдоль очистного забоя на проектируемых шахтах им. Я.М. Свердлова, «Прогресс», «Должанская-Капитальная»

ГОРНЫЕ НАУКИ

Таблица 2 – Прогнозные значения тепловых параметров рудничного воздуха в выработках глубоких горизонтов без искусственного охлаждения

Наименование шахты, выработки	Температура вмещающих пород, °С	Расход воздуха, м ³ /мин.	Скорость воздуха в забое, м/с	Тепловые параметры воздуха	
				на входе $t, ^\circ\text{C} / \varphi, \%$	на выходе, $t, ^\circ\text{C} / \varphi, \%$
«Прогресс», лава, подготовительная выработка	37,8	780	3,9	29,1/84	39,8/88
		375	1,0	29,0/84	40,8/87
им.Я.М. Свердлова, лава, подготовительная выработка	36,6	333	2,4	27,8/78	37,4/87
	35,4	240	0,35	27,0/79	38,5/86
«Должанская-Капитальная», лава, подготовительная выработка	38,9	532	4,0	31,8/78	41,1/86
		262	0,35	30,9/77	41,9/85

духоохладителей возможно только при понижении температуры входящего воздуха ниже 10 °С, что запрещено Санитарными правилами. В связи с этим рекомендовано снижать температуру входящего воздуха до 18 – 20 °С любыми доступными средствами и применять рассредоточенное охлаждение в призабойном пространстве лавы.

Согласно прогнозным данным при охлаждении входящего в лаву воздуха до 20°С поддержание регламентируемой температуры воздуха вдоль очистного забоя будет обеспечиваться на отрезках лавы длиной: 45 м – на ш. «Должанская-Капитальная», 65 м – на ш. «Прогресс» и 100 м – на ш. им. Я. М. Свердлова (см. рисунок). На рисунке изменение температуры рудничного воздуха в горных выработках исследуемых шахт режим его подачи без предварительного охлаждения показан сплошными линиями, а с предварительным охлаждением – пунктирными.

Нормализация теплового режима лав в условиях шахты им. Я. М. Свердлова воз-

можна за счет выноса энергопоезда на исходящую струю, увеличения скорости движения воздуха в лаве до 4 м/с, возведения воздухоизолирующей полосы со стороны воздухоподающей выработки, водяного охлаждения электродвигателя на комбайне с подачей нагретой воды на штрековый охладитель.

На остальных шахтах с более напряженным тепловым режимом выработок наряду с применением комплекса горно-технических мероприятий предусмотрено рассредоточенное охлаждение воздуха непосредственно в призабойных рабочих зонах лав. В настоящее время предложен ряд зарубежных и отечественных разработок для ступенчатого охлаждения воздуха в лаве, а именно: лавные воздухоохладители типа SPK фирмы WAT (Германия); подача охлажденного воздуха вдоль лавы по специальному трубопроводу с охлаждающей водяной рубашкой; подача охлаждающей жидкости в полости перекрытий механизированной крепи или размещение специальных теплообменников на нижней сто-

роне перекрытий секций крепи; пневматические кондиционеры, в которых использован эффект охлаждения за счет расширения сжатого воздуха [6].

В проекте были приняты наиболее простые охладительные устройства, где основными элементами являются вихревая трубка и пневматический эжектор. Такие устройства компактны, что важно при разработке тонких пластов, имеют малую массу, надежны, безопасны, просты в эксплуатации и позволяют снизить температуру воздуха в месте установки на 1-1,5°C. Устройство крепится к верхняку секции крепи, а патрубок размещается сонаправлено с потоком свежего воздуха и за счет шарнирного механизма может поворачиваться на угол 15° относительно продольной оси выработки.

Количество воздухоохладителей, необходимое для размещения в лаве, составило 10 шт. и определялось исходя из размеров ступени охлаждения. Степень охлаждения, на которой обеспечивается поддержание вдоль забоя регламентируемой температуры воздуха 26°C (согласно прогнозным данным, полученным по методике [7]), для условий шахт «Прогресс» и «Должанская-Капитальная» составила 14,5 м и 16 м соответственно.

Для условий шахты «Должанская-Капитальная» разработана технологическая схема снижения температуры воздуха в выработках выемочного участка. Согласно схеме в горных выработках участка применен комплекс горнотехнических мероприятий и технических средств по нормализации тепловых условий в горных выработках. Предложено применение кондиционеров, в которых охлаждение воздуха происходит за счет распыления воды под давлением. В тупиковой части проводимой выработки (уклона) применен форсуночный воздухоохла-

дитель конструкции ДонГТУ (проф. М.И. Феськова), включенный в систему местного проветривания, а также предусмотрена установка воздухоохлаждающих аппаратов типа «Прохлада-ПШ1».

В транспортных выработках выемочного участка применены многокамерные водоэжекторные охладители. Конструктивные особенности этих аппаратов позволяют снизить температуру воздуха на 8-9°C и запыленность рудничного воздуха на 98% за счет использования гидроакустического (импульсно-волнового) воздействия на аэрозоль [8]. Эжекторные воздухоохладители устанавливаются на всех перегрузочных пунктах выемочного участка и на сопряжениях уклонов с конвейерным штреком, в воздухоподающей части конвейерного уклона перед окном лавы для охлаждения входящего в лаву воздуха.

В призабойном пространстве лавы, начиная с 50-го метра по ходу движения воздушной струи, предусмотрена через каждые 15 м установка 10-ти пневматических охладителей с вихревыми трубками.

Выводы. При разработке проектов освоения глубоких горизонтов антрацитовых шахт технологические параметры очистной выемки должны приниматься с учетом температурного фактора, а нормализация тепловых условий в горных выработках должна основываться на комплексной технологии охлаждения рудничного воздуха и пылеподавления. В условиях напряженного геотемпературного режима недр и высокой энерговооруженности забоев нормализация тепловых условий в выработках выемочных участков может быть обеспечена путем рассредоточенного охлаждения рудничного воздуха в участковых горных выработках и непосредственно в лаве.

Библиографический список

1. Яковенко А.К. К вопросу нормализации тепловых условий в лавах глубоких антрацитовых шахт / А.К. Яковенко, А.А. Климов, О.В. Плаксиенко // Способы и средства создания безопасных

и здоровых условий труда в угольных шахтах : сб. науч. тр. МакННН. — Макеевка, МакННН, 2006. — Вып. 18. — С. 115–120.

2. Экспресс-методика прогнозирования температуры воздуха в выработках глубоких шахт Донбасса. — Макеевка, МакННН, 1998. — 72 с.

3. Мартынов А.А. Горно-технологические основы комплексного регулирования теплового режима глубоких шахт с теплоизоляцией горного массива в выработках / А.А. Мартынов // Наукові праці ДонНТУ. — Донецьк, 2004. — Вып. 72. — С. 121–128.

4. Технологічні схеми відпрацювання газонасних пластів з великими навантаженнями на очисні вибої. СОУ – П10.1.001185790.014:2009. — К. : 2010. — С. 108–115

5. Правила безопасности в угольных шахтах. НПАОП 10.0-1.01-10. — К. : Госгорпромнадзор Украины, 2010. — 432 с.

6. Мартынов А.А. Способы и направления улучшения температурных условий в глубоких шахтах / А.А. Мартынов, Н.В. Малеев, А.К. Яковенко, В.А. Орищак // Уголь Украины. — 2010. — № 5. — С. 20–26.

7. Кузин В.А. Методика расчета ступенчатого охлаждения воздуха в лавах / В.А. Кузин // Борьба с высокими температурами рудничного воздуха: сб. науч. тр. МакННН. — Макеевка, МакННН, 1998. — С. 50–53.

8. Тишин Р.А. Комплексная технология гидравлического охлаждения и обеспыливания рудничного воздуха / Р.А. Тишин, А.А. Попов, М.А. Никифоров, В.Б. Гого // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2012», 3–6 октября 2012 г. Днепрпетровск — Днепрпетровск, НГУ, 2012. — Т. 4. — С. 37–42.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Склеповичем К.З.,
Главным горняком технической дирекции ГУП ЛНР Сафоновым А.Б.**

Статья поступила в редакцию 18.05.16.

**к.т.н. Денисенко В.П., Чинчак О.О., Павленко М.Ю., Тетеря Є.В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)
ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ УМОВ У ВИРОБКАХ
ВИЙМКОВИХ ДІЛЬНИЦЬ ГЛИБОКИХ АНТРАЦИТОВИХ ШАХТ ДОНБАСУ**

Надано прогноз очікуваної температури повітря та запропоновані технічні рішення щодо нормалізації теплових умов у виробках глибоких шахт. Обґрунтовані параметри технологічних схем ступеневого охолодження повітря у виробках виймкової ділянки.

Ключові слова: вугільна шахта, антрацитові пласти, тепловий режим, охолодження рудникового повітря.

Phd in Engineering Denisenko V.P., Chinchak O.O., Pavlenko M.Yu., Teteria E.V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

THERMAL CONDITIONS AND THEIR REGULATION AT WORKING AREA IN DEEP ANTHRACITE MINES OF DONBASS

The authors predict an expected air temperature and have given engineering solution on normalization of thermal conditions in deep mine workings. Data of flow sheets for dispersed air cooling at working area have been proved.

Key words: coal mine, anthracite beds, thermal conditions, mine air cooling.

МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669. 162. 26

*д.т.н. Новохатский А.М.,
к.т.н. Диментьев А.О.,
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ШЛАКА В ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ, ПРИ НАЛИЧИИ ТОТЕРМАНА

Проведено исследование влияния тотермана, малоактивной зоны коксовой насадки в центре горна доменной печи, на движение шлака методом физического моделирования. Получены линии тока и равных скоростей движения расплава в металлоприемнике в период выпуска продуктов плавки.

Ключевые слова: доменная печь, горн, малоактивная зона, тотерман, линии тока, линии равных скоростей.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Значительное количество проблем, возникающих в работе доменных печей большого объема, являются следствием плохой организации работы горна. Важную роль при этом играет рациональное использование полезного объема металлоприемника, на которое значительное влияние оказывает образование застойных зон коксовой насадки, а также объем остаточного шлака, который находится в горне на момент закрытия выпуска.

Исследования влияния объема остаточного шлака на работу горна уже проводились [1-3], но в них не учитывалось действие малоактивной зоны коксовой насадки на движение продуктов плавки в металлоприемнике во время выпуска и накопления расплава.

Присутствие тотермана в доменной печи оказывает значительное влияние на изменение уровня продуктов плавки по окружности горна в период выпуска [4, 5]. Движение чугуна и шлака в малоактивной зоне коксовой насадки практически отсутствует, из-за чего не происходит их массообмен в этом объеме, а в период выпуска эта зона коксовой насадки создает препятствие для движения расплава к выпускному отверстию металлоприемника печи.

Для теории и технологии доменного процесса весьма актуальным является вопрос влияния тотермана на работу горна доменной печи, что требует проведения исследований в этом направлении.

Изложение материала и его результаты.

Для исследования движения шлака в металлоприемнике была разработана и изготовлена физическая модель горна доменной печи, которая представлена на рисунке 1. Она представляет собой цилиндр, выполненный из прозрачного материала.

При разработке физической модели горна соблюдалось геометрическое подобие с размерами доменной печи объемом 3000 м³. Диаметр моделирующей металлоприемник установки составил 400 мм, а ее высота 100 мм.

Физическая модель горна доменной печи состоит из дна 3 и цилиндрической боковой стенки 1. Для их изготовления использовано прозрачное органическое стекло, что позволяет визуально оценить движение жидкости в модели.

В нижней части боковой стенки расположен один выпускной канал 4 для слива жидкости, который согласно законам подобия гидравлики имеет диаметр 5 мм. Чугунная летка обычно имеет определенный

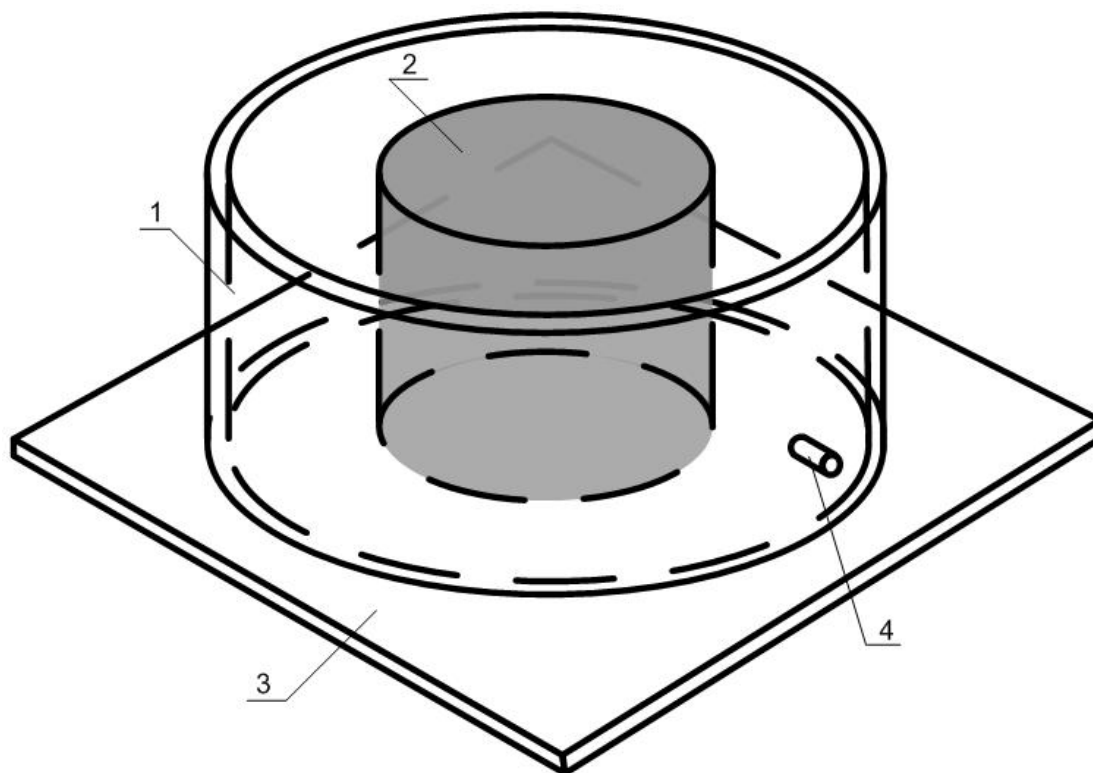


Рисунок 1 – Устройство физической модели горна доменной печи:
1 – боковая стенка, 2 – тотерман, 3 – дно модели, 4 – выпускной канал

угол наклона, который может составлять от 12 до 17 градусов, но из-за отсутствия избыточного давления газа при моделировании выпускной канал на модели выполнен горизонтально.

Для имитации коксовой насадки использовался пластиковый наполнитель, кусочки которого имели форму шара, приблизительно похожую на кокс. При этом соблюдено геометрическое подобие, диаметр кусков колеблется от 1 до 3 мм.

Данная крупность выбранного материала позволяет соблюсти законы подобия в гидравлике, так как по диаметру модели входит более 100 единиц данного наполнителя.

Точная форма малоактивной зоны коксовой насадки на данный момент не известна, поэтому в качестве ее ориентировочной формы принят цилиндр. В модели тотерман выполнен из непроницаемого материала и жестко установлен в центре модели.

Моделирование движения продуктов плавки на физической модели горна доменной печи требует соблюдения законов подобия гидравлики. При этом движение жидкости в модели будет подобно движению расплава в печи, если все размеры агрегатов геометрически подобны, а так же соблюдается подобие кинематических и динамических характеристик для всех сходных точек потока.

Для подтверждения кинематического и динамического подобия необходимо использовать критерии: Эйлера, Рейнольдса и Фруда. Однако часто при моделировании процессов движения жидкости соблюдение одного или двух критериев подобия делают это невозможным для остальных. На движение продуктов плавки в горне доменной печи во время выпуска оказывают влияние давление горновых газов, вязкость расплава, сила тяжести, порозность коксовой насадки,

размер тотермана и т. д., поэтому моделирование данного процесса имеет сложности в соблюдении всех этих критериев подобия. В связи с этим для анализа движения шлака в металлоприемнике использовалось ориентировочное подобие с соблюдением условий автомодельности явлений путем экспериментального подбора параметров исследуемого процесса [6].

Для определения направления движения потоков жидкости использовались частички алюминиевой пудры, которые помещались в различные точки слоя жидкости. На дно и стенку модели нанесена координатная сетка с квадратными ячейками, стороны которых равны 10 мм.

Перед началом эксперимента в модель устанавливали тотерман и заполняли ее пластиком, который имитирует коксовую насадку. Модель выравнивали относительно горизонта. После этого наливали глицерин с вязкостью 0,4 Па·с, который моделировал расплав, слоем высотой 100 мм, подобным уровню шлака в горне доменной печи.

При помощи стеклянной трубки диаметром 3 мм в различные точки слоя жидкости помещались частички алюминиевой пудры. Под моделью и в двух точках, для качественной съемки вертикальной стенки корпуса, установлена видеоаппаратура, чтобы фиксировать перемещение частичек пудры в слое жидкости.

Эксперимент начинался с открытия выпускного канала физической модели и фиксации при помощи видеоаппаратуры перемещения частичек алюминиевой пудры. Опыт завершался появлением в канале летки пузырьков воздуха.

В результате проведенных опытов на физической модели получены линии тока, представленные на рисунке 2, которые указывают направление движения шлака в горне доменной печи во время выпуска продуктов плавки.

Для нанесения линий равных скоростей был использован графический метод построения гидродинамической сетки, предложенный Ф. Форхгеймером, согласно ко-

торому линии тока и равных скоростей должны образовывать квадратичную ортогональную сетку [7].

Образуется ортогональная сетка путем восстановления перпендикуляров к каждой точке полученных линий тока. При этом скорость потока будет направлена по касательной по отношению к линиям тока. На рисунке 3 представлены линии равных скоростей, полученных в результате экспериментов.

Наличие тотермана в горне доменной печи образует граничную область, которая приводит к искривлению линий тока и равных скоростей движения расплава в период выпуска. В связи с этим по характеру истечения металлоприемник делится на 2 зоны: интенсивного выхода и влияния тотермана.

Движение расплава в зоне интенсивного выхода шлака из печи к выпускному отверстию проходит по сферическим поверхностям, поэтому линии равных скоростей расположены по окружностям, как показано на рисунке 3. В результате здесь образуется депрессионная воронка. Законы движения шлака в этой части горна были изучены в предыдущих работах [1-3].

В зоне влияния тотермана в период выпуска шлак движется к чугунной летке между стенками горна и малоактивной зоны коксовой насадки. При этом в идеальных условиях, созданных в физической модели, линии равных скоростей проходят равномерно по вертикали, а в горизонтальном сечении они направлены по одинаковым кривым.

В результате проведенных на физической модели горна экспериментов получены линии тока и равных скоростей движения потока шлака в металлоприемнике доменной печи во время выпуска продуктов плавки по двум зонам.

Дальнейшее направление исследований будет состоять в анализе изменения формы слоя шлака в горне доменной печи, что позволит путем математического моделирования разработать метод расчета объема тотермана и шлака, остающегося в металлоприемнике по окончании выпуска.

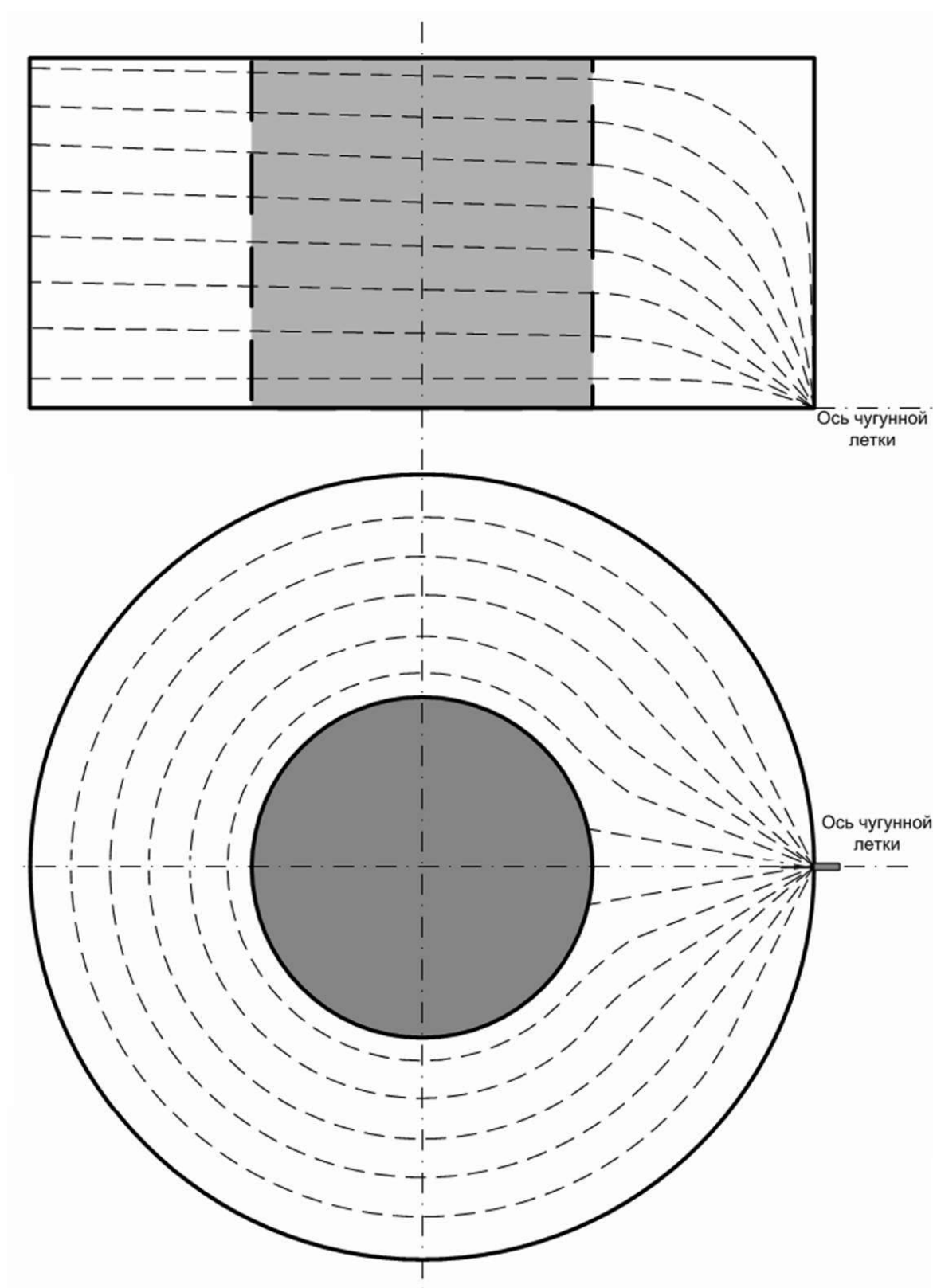


Рисунок 2 – Линии тока движения шлака в горне доменной печи по горизонтальному и вертикальному сечению

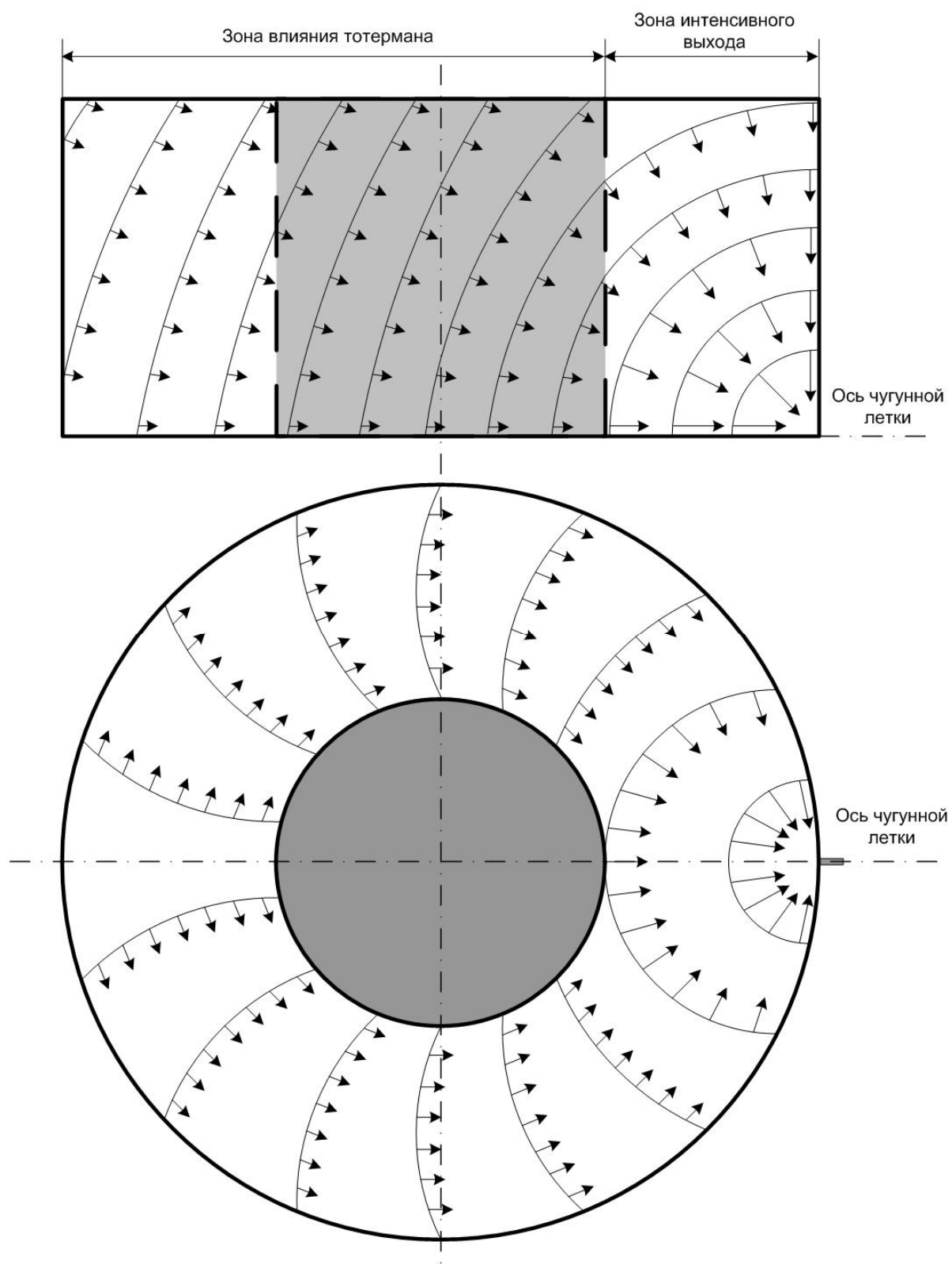


Рисунок 3 – Линии равных скоростей движения шлака в горне доменной печи

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. В результате проведенных на физической модели экспериментов определены линии тока и равных скоростей движения шлака в горне доменной печи к чугунной летке в период выпуска продуктов плавки при наличии тотермана в металлоприемнике.

2. Образование малоактивной зоны коксовой насадки в горне приводит к изменению линий тока и равных скоростей дви-

жения продуктов плавки в период выпуска. В результате металлоприемник делится на 2 зоны: влияния тотермана и интенсивного выхода шлака из печи.

3. На основании проведенных экспериментов запланировано разработать метод расчета объема тотермана путем математического моделирования движения потока шлака в горне доменной печи в период выпуска.

Библиографический список

1. Новохатский А.М. Совершенствование режима выпуска продуктов плавки из горна доменной печи // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. праць. – Маріуполь, 2008. — Вип. 18. — С. 19–22.
2. Новохатский А.М. Особенности работы горна доменной печи при выпуске чугуна и шлака через канал чугунной летки / А.М. Новохатский // Металл и литье Украины. — 2009. — № 1. — С. 9–12.
3. Новохатский А.М. Анализ закономерностей протекания массообменных процессов в горне доменной печи / А.М. Новохатский // Металлы и литье Украины. — 2008. — № 6. — С. 5–7.
4. Nogro P. Characterization of the permeability of the blast furnace lower part / P. Nogro, C. Petit, A. Urvoy, D. Sert, H. Pierret // Rev. met.-France. — 2001. — № 6. — С. 521–531.
5. Freuer A. Computation of the iron flow in the hearth of a blast furnace / A. Freuer, J. Winter, H. Hiebler // Steel Res. — 1992. — № 4. — С. 139–146.
6. Физико-химические методы исследования металлургических процессов / П.П. Арсентьев, В.В. Яковлев, М.Г. Крашенинников, Л.А. Пронин, Е.С. Филиппов ; под ред. П. П. Арсентьева. — М. : Металлургия, 1988. — 503 с.
7. Чугаев Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев. — Ленинград : «Энергия», 1975. — 600 с.

**Рекомендована к печати проф. каф. МЧМ ДонГТУ Куберским С.В.,
гл. инженером ПАО «АМК» Семенюком П.П.**

Статья поступила в редакцию 18.05.16.

**д.т.н. Новохатський О.М., к.т.н. Дімент'єв О.О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)
ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ШЛАКУ В ГОРНІ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ, ПРИ
НАЯВНОСТІ ТОТЕРМАНА**

Проведено дослідження впливу тотермана, малоактивної зони коксової насадки у центрі горна доменної печі, на рух шлаку методом фізичного моделювання. Отримані лінії потоку і рівних швидкостей руху розплаву у металоприймнику в період випуску продуктів плавки.

Ключові слова: доменна піч, горн, малоактивна зона, тотерман, лінії току, лінії рівних швидкостей.

**Dr.Sci.Tech. Novohatskyi A.M., PhD in Engineering Dimentiev A.O. (DonSTU, Alchevsk, LPR)
PHYSICAL MODELING OF SINTER MOVING IN BLAST-FURNACE HEARTH WITH
DEADMAN**

Physical modeling was used in the investigation to show the influence of deadman and low-active zone of coke packing in the center of blast-furnace hearth on sinter moving. The flow lines and lines of equal rates of melting movement in metal reservoir at tapping moment were obtained.

Key words: blast furnace, hearth, low-active zone, deadman, flow lines, lines of equal rates.

УДК 669.3+902.01

к.г.н. Шубин Ю.П.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, u0502823920@yandex.ru)

ПРОБЛЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭПОХИ ПОЗДНЕЙ БРОНЗЫ (НА ПРИМЕРЕ КАРТАМЫШСКОГО АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДОНБАССА)

Экспериментальное моделирование медеплавильного производства эпохи поздней бронзы на базе окисно-сульфидных руд Картамышского рудопроявления Бахмутской котловины Донбасса (15 экспериментальных плавов) позволило установить комплекс факторов, влияющих на его эффективность. На базе анализа этих факторов, а также археологических свидетельств древнего медеплавильного производства получены удачные плавки медных руд с восстановлением до 77% меди в слиток. Установленные параметры металлургического передела медных руд, а также детальные исследования продуктов древнего металлургического производства и экспериментальных плавов позволили предложить эффективные, наиболее вероятные технологии медеплавильного производства, применяемые на медных рудниках Донбасса эпохи поздней бронзы.

Ключевые слова: металлопроизводство, экспериментальное моделирование, металлургический передел, меднорудный концентрат, технология плавки, медь.

В настоящее время в связи с масштабными геоархеологическими исследованиями древних рудников в странах СНГ и мира актуальной проблемой является реконструкция древнего металлургического производства [1, 2]. Для эпохи бронзы речь идёт, прежде всего, о медных рудниках и медеплавильном производстве. Накоплен опыт в экспериментальном моделировании медеплавильного производства из медных руд разного минерального состава. Многие исследователи пытались подвести научную основу при анализе медеплавильного производства, но тем не менее эксперименты по плавке медных руд в большинстве случаев не давали на выходе удовлетворительного количества восстановленной меди. Последнее означает, что обычно не удаётся даже приблизиться хотя бы к одной из потенциально возможных эффективной технологии металлургического передела. Поэтому исследователи древнего металлопроизводства зачастую апеллируют к необходимости присутствия у исполнителей металлургических плавов большого опыта и навыков в области металлургии. В связи с этим возникла необходимость экспериментальным

путём варьирования технологических параметров и вещественного состава материала металлургической шихты добиться удовлетворительного выхода меди в слиток. Последнее должно быть согласовано с артефактами, относящимися к области металлургии, чтобы максимально приблизиться к реконструкции металлургического производства прошлого. Материалы удачных экспериментальных плавов подлежат детальному анализу с фиксацией всех технологических параметров металлургического передела и изучением вещественного состава материала шихты и продуктов передела.

Наблюдения за экспериментальными плавками медных руд, изучение результатов ранее проведённых плавов [3], выполненных в разные годы (2004 -2009 гг.) из медных руд Картамышского рудопроявления, а также изучение технологии переработки концентратов медных руд [4], позволили выделить следующие факторы, влияющие на процесс металлургического передела.

На этапе *подготовительных работ* существенное значение имеет конструкция и параметры печи. Необходимо также нали-

чие рудного концентрата (шихты) с определённым содержанием извлекаемого металла (меди), при этом важен его минеральный состав и степень измельчения. В результате предварительного обжига существенное значение имеет степень удаления серы из сульфидов меди. Температура плавки и консистенция расплава зависит от наличия естественного флюса в виде кварцевого песка – неотъемлемой части меднорудного концентрата месторождений формации медистых песчаников. Кроме того, должен быть подобран оптимальный объём меднорудного концентрата и древесного угля, загружаемого в печь, соответствующий применяемой технологии и мощности экспериментальной печи. Экспериментальная печь должна иметь определённую форму, размер, толщину стен, материал, из которого она изготовлена. Последние должны обеспечить накопление тепла, необходимого для протекания процесса плавления шихты и последующего медленного остывания расплава. Особые требования по жаропрочности предъявляются к плавильной чаше, обеспечивающей локализацию вещества и тепла в процессе металлургического передела и последующего остывания продуктов плавки. Технологически важным видится также характер укладки меднорудного концентрата и древесного угля в медеплавильной чаше и печи. Количество подаваемого в печь воздуха определяется количеством мехов и сопел, а также их параметров. Пропускная способность сопел определяется диаметром их выходного отверстия, в то же время меха должны иметь объём, достаточный для обеспечения определённой устойчивой скорости и расхода воздуха, подаваемого в печь. Чрезвычайно большое значение имеет жаропрочность материала, из которого изготовлены сопла, их ориентировка в плане и в вертикальной плоскости (угол наклона) относительно поверхности и центра загрузки меднорудного концентрата в плавильной чаше.

На этапе *металлургического передела* важным является количество и характер

распределения древесного угля, добавляемого в печь для достижения и поддержания в печи необходимых температур, а также восстановительных условий, путём генерации угарного газа, обеспечивающего восстановление меди и предохраняющего её от повторного окисления. В связи с этим существенным также является расход, скорость и локальность подачи воздуха, обеспечивающего нормальное протекание окислительных реакций. Последние необходимы для создания ранее оговоренных благоприятных условий протекания металлургического передела. Введение в расплав инородных тел-«дразнителей металла» способствует перемешиванию плавящейся массы, приводящему к объединению капель выплавленной черновой меди в единый слиток и его оседанию на дно плавильной чаши. В процессе перемешивания расплавленной массы открывается доступ газовым компонентам к рудному веществу. В итоге происходит улучшение условий, необходимых для протекания химических реакций и стратификации расплавных фаз в плавильной чаше. Важным фактором металлургического передела является оптимизация его процесса (увеличение коэффициента полезного действия печи). Это позволяет снизить расход древесного угля и воздуха до минимально необходимых количеств, обеспечивающих успешную плавку. Последнее достигается за счёт подбора оптимальных параметров загрузки печи, подачи воздуха, времени плавки и т. д. Длительность процесса плавления руды контролируется фиксацией достижения бело-жёлтого цвета пламени [5], жидкого состояния шлака в плавильной чаше и прекращением выделения пузырьков газа.

На этапе охлаждения существенное значение имеет скорость остывания расплава.

Многочисленные экспериментальные плавки (15 плавов), выполненные нами, подтвердили возможность эффективного металлургического передела сульфидных руд (выход меди в слиток на уровне 60-

70%), о чём свидетельствуют также включения расплавленных сульфидов в археометаллургических шлаках и археометаллах. В результате плавления руд получена чёткая стратификация вещества в медеплавильной чаше (сверху вниз): зелёный пористый силикатный шлак→бурый силикатный шлак→штейн, состоящий из окислов чёрных металлов→переплавленный халькозин→медь→свинец. Аналогичные продукты металлургического передела были обнаружены при раскопках объектов Картамышского археологического микрорайона и других древних рудников Бахмутской котловины (Клиновое, Медная Руда).

Безусловно, удачная экспериментальная плавка медных руд свидетельствует о потенциальной возможности эффективной их плавки. В то же время позитивный результат может быть итогом применения разных технологий или, по крайней мере, её особенностей [1]. Тем не менее продукты металлургического передела в удачных экспериментальных плавках дифференцировались достаточно чётко и поэтому являются объектами для детальных исследований вещественного состава. Важность последних подтверждается обнаружением аналогичных металлургических продуктов (шлаки, штейны, медь) в пределах производственных зон металлургического цикла древних медных рудников Бахмутской котловины Донбасса.

При экспериментальном моделировании древнего медеплавильного производства нами использовалась технология плавки руды в плавильных чашах, а также технология с послойной загрузкой древесного угля и рудного концентрата в печь поверх плиты песчаника. Последняя технология плавки не привела к получению хорошо сформированного крупного слитка меди, а получались мелкие (до 5 мм) включения меди каплевидной формы, рассеянные в массе недифференцированного вязкого шлака. Количество восстановленной меди составило при этом 43 %. Для извлечения всей меди потребовалось раздробить

весь образованный шлак. К тому же в процессе нагнетания воздуха через сопла происходило рассеивание (выдувания) части вещества рудного концентрата. Дробление мягкого и хрупкого халькозина предполагает формирование высокого процента переизмельчённой пылевой фракции, которая при подаче воздуха через сопла может легко выдуться из области плавки. В связи с этим целесообразно использование крутостенных, достаточно высоких (высотой около 10 см) плавильных чаш, предотвращающих вынос мелких рудных частиц за пределы области металлургического передела. Кроме того, применение плавильных чаш позволяет добиться высоких локальных температур в небольшом объёме рудного концентрата в течение непродолжительного времени, тем самым сокращая длительность плавки, что в свою очередь позволяет экономить древесный уголь. Последующее охлаждение печи, перекрытой сверху крышкой, предполагает слабый отвод тепла через донную часть плавильной чаши, подстилаемой озолённым древесным углём. С другой стороны, при необходимости плавильную чашу со слитком черновой меди можно было легко извлечь из печи через непродолжительный интервал времени с помощью специальных ухватов.

Археологические раскопки, проведённые в пределах Картамышского археологического микрорайона, подтвердили применение в древности технологии плавки медных руд в плавильных чашах. При изготовлении медеплавильной печи в качестве образца были взяты древние медеплавильные печи, обнаруженные в пределах участков ЧО1 и ЧО3 Картамышского рудника [3]. В результате была изготовлена экспериментальная печь формы усечённого конуса с выпуклыми стенками, приближающими форму печи к полусферической. При этом диаметр топки в нижней части составил 30 см, диаметр верхнего отверстия (устья) составил 20 см, высота печи – 35 см при толщине стен 10-12 см. Также было сделано углубление в почву на 10 см.

Нагнетание воздуха осуществлялось через два керамических сопла, «смотрящих» с противоположных сторон в центр плавильной чаши под углом 45° к горизонту. Для этого использовались два пылесоса модели «Ракета». Для восстановления меди использовался древесный уголь, изготовленный из дуба. Халькозиновый концентрат общей навеской в 300 г был предварительно измельчён до размера 1-3 мм с использованием древних технологий (дробление и истирание фрагментов сульфидной руды кварцитовым пестом в ступке из медистого песчаника). При этом в рудный концентрат примешалось около 100 г материала использованной ступки (в основном) и песта, который играл в металлургическом процессе роль флюса. Примешанный материал был представлен зёрнами кварц-полевошпатового состава на карбонатно-железистом цементе. Затем подготовленный меднорудный концентрат был подвержен предварительному обжигу на костре до исчезновения характерного запаха серы (в течение 20 мин.). При этом цвет рудных зёрен изменился от тёмно-серого до красного в результате формирования на поверхности зёрен окисной плёнки куприта (Cu_2O). Последнее обстоятельство обеспечивает возможность восстановления металлической меди в результате протекания химических реакций между халькозином и купритом, а также между купритом и угарным газом.

На дно печи помещался горящий древесный уголь слоем в 5 см. Затем в центре печи устанавливалась плавильная чаша, вырезанная из донной части старого молочного горшка, толщина стен 3 мм. На дно чаши засыпался 3 см слой горящих древесных углей, поверх которых было засыпано 300 г меднорудного концентрата. Свободное пространство печи засыпалось древесным углём (2,5 кг). Края сопел устанавливались на верхней части плавильной чаши. Время плавки составило 34 мин. В результате в донной части чаши образовался слиток меди весом 45 г. По данным

рентгеноспектрального анализа (спектрометр ARL 9900, аналитики Нестеренко, Центральная лаборатория АМК, г. Алчевск) содержание меди в обожжённом меднорудном концентрате составило 19,5 %. Следовательно, при этом восстановилось 77 % меди. Над слитком меди расположен слой переплавленного халькозина мощностью 3 мм, выше которого фиксировалась плитка штейна толщиной 5 мм. В последней обнаружены капли меди размером 1-2 мм. Выше располагался стекловидный бурый шлак толщиной 20 мм, над которым – зеленоватый тонкопористый шлак толщиной 10 мм.

Эксперимент показал, что на дно плавильной чаши не следует укладывать древесный уголь, поскольку в продуктах металлургического производства отмечено значительное количество переплавленного сульфида – халькозина. Как показали многочисленные экспериментальные плавки, плавильные чаши не удаётся использовать повторно в силу приваривания металлургических шлаков к стенкам плавильной чаши. Последнее означает, что плавильные чаши были одноразовыми. Отмечено повышенное содержание мышьяка (до 0,0n %) в археологических продуктах металлургической деятельности по сравнению с таковыми экспериментальной плавки. Это может быть обусловлено как геологическими (повышенная мышьяковистость исходных руд), так и технологическими (принудительное введение мышьяка или его соединений в рудный концентрат или расплав; более низкие температуры плавления; меньшее время металлургического передела) факторами. Примечательно также перераспределение химических элементов по продуктам экспериментальной плавки. Для исследований продуктов экспериментальной плавки применялся рентгеноспектральный анализ (спектрометры ARL8410-131 и ARL9900) и энергодисперсионный рентгеновский анализ (для изучения химического состава черновой меди и переплавленного халькозина). В

слитках черновой меди нами отмечена концентрация свинца, серы, ванадия, рублидия, хлора, серебра, иридия, иттербия, олова, мышьяка и сурьмы. В переплавленном халькозине концентрировался свинец, серебро, иттербий и галлий. В штейне накапливалось железо, марганец, хром, цирконий, ванадий и рубидий. Бурый шлак концентрировал в себе кальций, марганец, фосфор, цирконий, стронций, олово, никель и сурьму. В зелёном пористом шлаке концентрировался кремний, алюминий, магний, калий, натрий, сера, титан, галлий, ниобий, кобальт, никель, цинк и литий. Вероятно, характер перераспределения химических элементов по продуктам металлургического передела во многом зависит от длительности процесса и достигаемой при этом температуры.

Отмеченные ранее для подобной технологии металлургического передела окислительные условия в радиусе 15 см от сопла требуют присутствия восстановителя в зоне плавки. В связи с этим наличие некоторого количества сульфидов в шихте благоприятно влияет на протекание металлур-

гического передела, тем более в связи с возможностью протекания химических реакций между компонентами обожжённого рудного концентрата (купритом и халькозином).

Таким образом, результаты выполненных экспериментальных плавов медных руд позволили выделить факторы, отвечающие за эффективность металлургического передела. Анализ последних, а также вещественных свидетельств древнего металлургического производства позволил выполнить удачные экспериментальные плавки сульфидных медных руд. Морфология и вещественный состав продуктов древнего металлургического производства оказались близки таковым экспериментальных плавов [6]. В связи с этим есть основания полагать, что установленные параметры удачных экспериментальных металлургических плавов наиболее вероятно моделируют технологии медеплавильного производства, которые применялись на древних медных рудниках Бахмутской котловины Донбасса в эпоху поздней бронзы.

Библиографический список

1. Григорьев С.А. Металлургическое производство в Северной Евразии в эпоху бронзы / С.А. Григорьев. — Челябинск : Цицеро, 2013. — 660 с.
2. Черных Е.Н. Каргалы / Е.Н. Черных, Е.Ю. Лебедева, И.В. Журбин, Х.А. Лопес-Саеи, П. Лопес-Гарсия, М.И.Н. Мартинес-Наваррете. В 5 т.; т. 3. — М. : Языки славянской культуры, 2004. — 320 с.
3. Бровендер Ю.М. Эксперименты по выплавке меди из руд Картамышского рудопроявления в Донбассе / Ю.М. Бровендер, Ю.П. Шубин // Археология восточноевропейской лесостепи. — Воронеж : ВГУ, 2009. — С. 114–123.
4. Обогащение и переработка полезных ископаемых : учебн. пособие / В.Б. Кусков, М.В. Никитин // Санкт-Петербургский горный ин-т (технический университет). — СПб, 2002. — 84 с.
5. Ровира С. Технология выплавки меди в эпоху поздней бронзы в Каргалах (Оренбург, Россия). Экспериментальные плавки в Горном / С. Ровира // Проблеми гірничої археології: Матеріали II-го міжнародного Картамиського польового археологічного семінару. — Алчевськ, 2005. — С. 203–206.
6. Бровендер Ю.М. К вопросу о закономерностях перераспределения химических элементов в процессе металлургического передела медных руд в эпоху бронзы / Ю.М. Бровендер, Ю.П. Шубин // Проблеми гірничої археології: Матеріали VII-го міжнародного Картамиського польового археологічного семінару. — Алчевськ, 2009. — С. 90–96.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Дон ГТУ Новохатским А.М.,
д.г.-м.н. Института минералогии УрО РАН Зайковым В.В.*

Статья поступила в редакцию 21.04.16.

к.г.н. Шубін Ю.П. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ПРОБЛЕМИ РЕКОНСТРУКЦІЇ МІДЕПЛАВИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ДОБИ ПІЗНЬОЇ БРОНЗИ (НА ПРИКЛАДІ КАРТАМИСЬКОГО АРХЕОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДОНБАСУ)

Експериментальне моделювання мідеплавильного виробництва доби пізньої бронзи на базі окисно-сульфідних руд Картамиського рудопрояву Бахмутської улоговини Донбасу (15 експериментальних плавок) дозволило визначити комплекс факторів, які впливають на його ефективність. На базі аналізу цих факторів, а також археологічних свідчень давнього мідеплавильного виробництва отримані вдалі плавки мідних руд з відновленням до 77% міді у зливки. Встановлені параметри металургійного переділу мідних руд, а також детальні дослідження продуктів давнього металургійного виробництва і експериментальних плавок дозволили запропонувати ефективні, найбільш вірогідні технології мідеплавильного виробництва, які застосовувались на мідних копальнях Донбасу доби пізньої бронзи.

Ключові слова: *металовиробництво, експериментальне моделювання, металургійний переділ, міднорудний концентрат, технологія плавки, мідь.*

PhD in Geology Schubin Yu.P. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

PROBLEMS IN RECONSTRUCTION OF COOPER-MELTING PRODUCTION OF THE LATE BRONZE AGE (ARCHEOLOGICAL DONBASS COMPLEX KARTAMYSH)

In the paper the number of factors influencing cooper-melting production efficiency was determined due to experimental simulation of copper-melting production of the Late Bronze Age using oxide and sulfide ore from Kartamysh ore occurrence of the Donbass Bakhmut basin (15 experimental meltings). On the basis of the factors analysis as well archeological evidence of ancient copper-melting production the well-done copper ore melting with ore reduction up to 77% were obtained into an ingot. The determined parameters of metallurgical copper ore treatment were obtained as well as the detailed investigations of ancient metallurgical production and experimental melts enabled us to propose efficient and most likely the methods of ancient copper-melting production which were probably used in the Late Bronze Age on ancient Donbass copper mines.

Key words: *metal production, experimental simulation, metallurgical treatment, copper and ore concentrate, melting technique, copper.*

УДК 621.512.65.011.46.002.235+669

к.т.н. Рутковский Ю.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),
к.ф.-м.н. Ризун В.И.
(г. Луганск, ЛНР),
к.т.н. Рутковский А.Ю.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),
Найчук В.В.
(инженер-конструктор Сумского НПО, Сумы)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ДАВЛЕНИЯ ВО ВСАСЫВАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА ПРИ ДВИЖЕНИИ ГАЗА В НЕЙ С ДОЗВУКОВОЙ СКОРОСТЬЮ

Рассмотрены вопросы возникновения и распространения волн давлений газа во всасывающей системе поршневого компрессора, состоящей из трубопровода, всасывающего клапана и переменного объема цилиндра, подключаемого к трубопроводу в период всасывания. Получены дифференциальные уравнения, позволяющие определить амплитуду и фазу собственных колебаний давления движущегося с дозвуковой скоростью газа в трубе, имеющей на конце емкость с переменной вместимостью. Впервые это уравнение решено методом интегральных рядов.

Ключевые слова: компрессор, всасывающая система, дифференциальные уравнения, колебания давления, цилиндр, интегральные ряды, определитель Вронского.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

При работе поршневого компрессора из-за периодических процессов всасывания во всасывающей системе возникают интенсивные колебания давления (рис. 1).

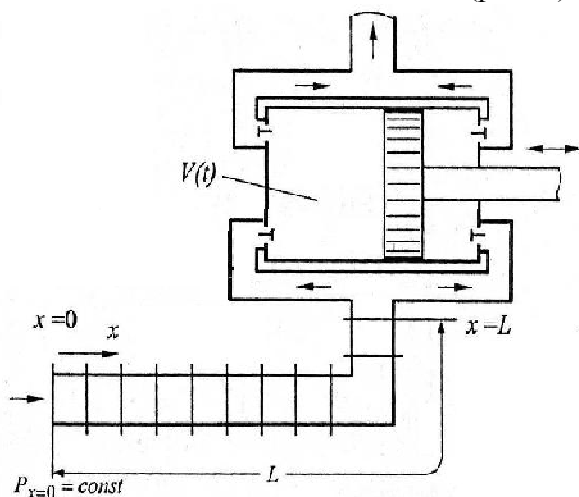


Рисунок 1 – Схема всасывающей системы поршневого компрессора с цилиндром двойного действия в первой ступени и переменной длиной всасывающего трубопровода

Распространяясь в полость цилиндра в период всасывания, эти колебания приводят к тому, что коэффициент наполнения будет большим или меньшим, чем при стационарном движении воздуха. Известно, что при правильно подобранных резонансных параметрах всасывающей системы, т. е. длины и диаметра всасывающего трубопровода, обеспечивающих равенство частот собственных колебаний газа ω_0 с частотой главной гармоники вынуждающих колебаний (для цилиндра двойного действия главной гармоникой является вторая), наступает резонанс колебаний (рис. 2). Амплитуда колебаний давления перед всасывающими клапанами достигает 1,2...1,25 от величины атмосферного давления, производительность компрессора увеличивается при этом на 20...25% [1, 3].

Такое же явление наблюдается и у двигателей внутреннего сгорания. В работе [2] отмечается, что мощность двигателя в режиме резонансного наддува может быть увеличена на 41%.

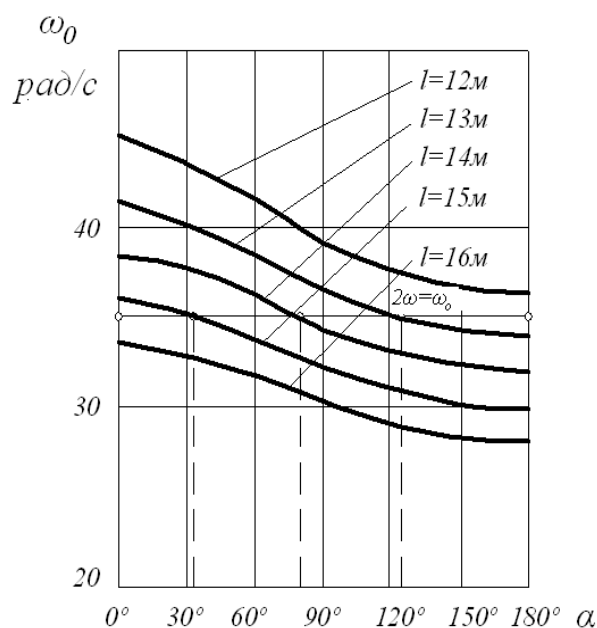


Рисунок 2 – Изменение собственной частоты колебаний всасывающей системы компрессора 2ВГ в зависимости от переменного объема цилиндра

К явлениям колебаний давления газа во всасывающей системе в последнее время привлекается возрастающее внимание как со стороны потребителей, так и со стороны создателей компрессорной техники. Особенно это видно по публикациям, касающимся воздушных поршневых компрессоров, у которых всасывающий трубопровод не входит в технологическую линию, и реализация интенсификации работы компрессора акустическим наддувом может быть получена без каких-либо капитальных затрат путем изменения длины всасывающего трубопровода. Резонансная интенсификация может явиться наиболее экономичным методом повышения производительности компрессора при его эксплуатации в промышленных условиях [3].

На рисунке 3 представлены экспериментальные зависимости производительности компрессора ВП-50/8М от длины всасывающего трубопровода при прямооточных всасывающих клапанах типа ПИК (кривая 1) и кольцевых клапанах типа 10К-180 (кривая 2). В технической литературе они полу-

чили название характеристик производительности поршневого компрессора при резонансной интенсификации его работы [4].

Как видно из рисунка 3, повышение производительности компрессора ВП-50/8М при резонансной длине всасывающего трубопровода, равной $L_{\text{вс}} = 4,2$ м, составили 16,2 % при прямооточных клапанах типа ПИК и 9 % при кольцевых клапанах типа 10К-180. Изменение конструкции клапана не повлияло на величину резонансной длины всасывающего трубопровода, однако существенно отразилось на эффективности резонансной интенсификации производительности компрессора – прибавка производительности уменьшилась почти на 7%.

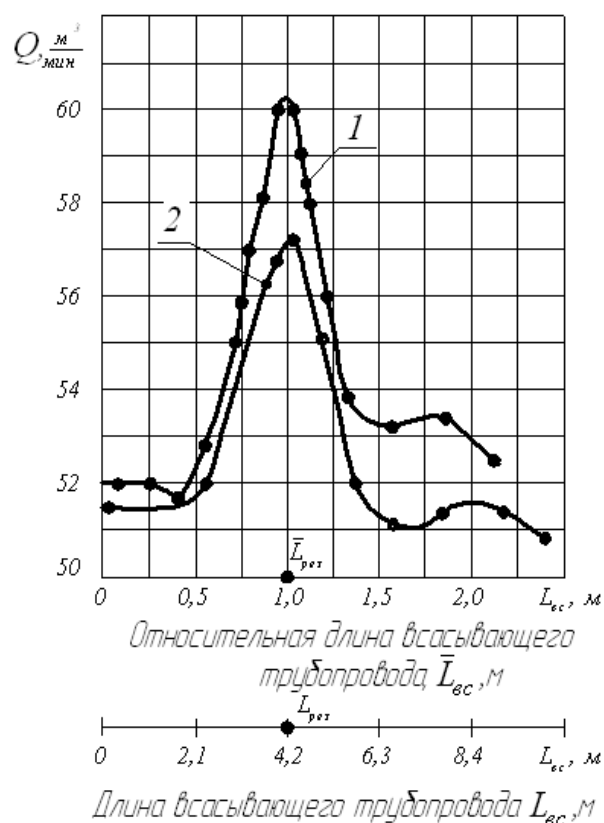


Рисунок 3 – Характеристики производительности поршневого компрессора ВП-50/8М при резонансной интенсификации его работы

кривая 1 – прямооточные клапаны;
кривая 2 – кольцевые клапаны

Постановка задачи.

В настоящей работе ставится задача определения амплитуды и фазы вынужденных колебаний давления газа во всасывающей системе с учетом переменного объема цилиндра, соизмеримого с объемом всасывающего трубопровода, методом интегральных рядов [5, 6]. Следует отметить, что подобную задачу решал Боднер В. А. [2], однако в своих исследованиях он заменил переменный объем цилиндра его средним значением. Такая замена позволила лишь учесть объем цилиндра как важный акустический элемент, влияющий на собственную частоту системы. В действительности мы имеем дело с переменным объемом цилиндра, величина которого, как указано выше, соизмерима с объемом всасывающего трубопровода, настроенного на резонанс по второй гармонике (рис. 2). Это обстоятельство нельзя не учитывать при исследовании колебаний давления на работу и энергетические затраты на привод поршневого компрессора.

Изложение материала и его результаты.

Рассмотрим процесс возникновения колебаний давления во всасывающей системе. Обычно компрессор имеет прямую всасывающую трубу длиной L , открытую с одного конца, а второй конец подключен к цилиндру, объем которого периодически меняется (рис. 1). В качестве физической модели принимаем идеальный компрессор с цилиндром двойного действия. Импульсом движения газа служит движение поршня. Движение газа в трубе считается одномерным, число Маха не превышает 0,06.

И. А. Чарный [7] показал, что движение газа с дозвуковой скоростью в длинных трубах достаточно точно описывается линейаризованной системой уравнений:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + 2a\rho u, \quad (1)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = C_{36}^2 \frac{\partial}{\partial t}(\rho u), \quad (2)$$

$$\frac{p}{\rho^k} = const, \quad (3)$$

где u – скорость; ρ – плотность; p – давление; $2a$ – постоянный множитель, зависящий от гидравлического сопротивления трубы, от гидравлического радиуса и от средней скорости газа в трубе.

Отличительной особенностью идеального компрессора является отсутствие теплообмена со стенками цилиндров при всасывании газа.

В этом случае приращение внутренней энергии газа в цилиндре находится как разность энтальпии поступающего газа и работы, затраченной газом при движении поршня [1]:

$$C_v d(MT) = C_p T_{6c} dM - p dV, \quad (4)$$

где C_v , C_p – соответственно теплоемкость газа при постоянном объеме и давлении; M – массовое количество газа в цилиндре; T и T_{6c} – абсолютная температура газа в цилиндре и перед всасывающим клапаном в СТВ (стандартной точке всасывания) °К; p – давление в цилиндре (абсолютное) Па; V – переменный объем цилиндра, м³.

Принимая во внимание соотношение:

$$MT = \frac{pV}{R},$$

где R – газовая постоянная, Дж/(кг·град),

получим

$$\frac{C_v}{R} V dp + \frac{C_p}{R} p dV = C_p T_{6c} dM. \quad (5)$$

Учитывая, что $\frac{C_p}{C_v} = K$, где K – показатель адиабаты, а $C_{36} = \sqrt{KRT_{6c}}$ – скорость

звука во всасывающей системе, уравнение (5) после деления на dt принимает вид

$$C_{36}^2 \frac{dM}{dt} = V \frac{dp}{dt} + KP \frac{dV}{dt}. \quad (6)$$

Очевидно, что $\frac{dM}{dt}$ есть то количество газа, которое поступает в цилиндр в единицу времени за период всасывания. Этот мгновенный расход может быть выражен через скорость около клапана и плотность.

$$\frac{dM}{dt} = Spu, \quad (7)$$

где S – площадь сечения отверстия клапана.

Таким образом, граничное условие при $x = l$ запишется:

$$SC_{36}^2 pu = V \frac{dp}{dt} + KP \frac{dV}{dt}. \quad (8)$$

Дадим другое выражение граничного условия. Определим u из уравнения (8) и, взяв его производную по времени, подставим ее значение в уравнение (1). После ряда простых преобразований получим исходное дифференциальное уравнение второго порядка с переменными коэффициентами:

$$\frac{d^2 p}{dt^2} + \left(2a + \frac{1+K}{V} \frac{dV}{dt} \right) \frac{dp}{dt} + \left(\frac{K}{V} \frac{d^2 V}{dt^2} + \frac{2aK}{V} \frac{dV}{dt} \right) p = \frac{C_{36}^2 S}{V} \frac{dp}{dx} \Big|_{x=l} \quad (9)$$

Пользуясь подстановкой:

$$dt = \frac{d\alpha}{d\omega},$$

где α – угол поворота кривошипа, ω – угловая скорость, получим другой вид уравнения:

$$\frac{d^2 p}{d\alpha^2} + A(\alpha) \frac{dp}{d\alpha} + B(\alpha) p = f(\alpha), \quad (10)$$

где

$$A(\alpha) = \frac{2a}{\omega} + \frac{1+K}{V} \frac{dV}{d\alpha};$$

$$B(\alpha) = \frac{K}{V} \frac{d^2 V}{d\alpha^2} + \frac{2aK}{\omega} \frac{dV}{d\alpha};$$

$$f(\alpha) = - \frac{C_{36}^2 V}{\omega^2} \frac{dp}{dx} \Big|_{x=l}. \quad (11)$$

Рассмотрим сначала однородное дифференциальное уравнение (ДУ):

$$\frac{d^2 p}{d\alpha^2} + A(\alpha) \frac{dp}{d\alpha} + B(\alpha) p = 0, \quad (12)$$

которое получено из ДУ (10) для случая, когда $f(\alpha) = 0$.

Преобразуем ДУ (12) с помощью подстановки:

$$p(\alpha) = e^{-\frac{1}{2} \int A d\alpha} z(x), \quad (13)$$

где $z(x)$ – новая искомая функция.

Согласно (13) имеем:

$$p' = -\frac{1}{2} A e^{-\frac{1}{2} \int A d\alpha} \cdot z + e^{-\frac{1}{2} \int A d\alpha} \cdot z'; \quad (14)$$

$$p'' = \frac{1}{4} A^2 e^{-\frac{1}{2} \int A d\alpha} - \frac{1}{2} A e^{-\frac{1}{2} \int A d\alpha} \cdot z - A e^{-\frac{1}{2} \int A d\alpha} \cdot z' + e^{-\frac{1}{2} \int A d\alpha} \cdot z''. \quad (15)$$

Подставляя (13)...(15) в ДУ(12), получим

$$z'' + D(\alpha)z = 0, \quad (16)$$

$$\text{где } D(\alpha) = B(\alpha) - \frac{1}{2} A(\alpha) - \frac{1}{4} A^2(\alpha).$$

Будем решать ДУ методом интегральных рядов (МИР) [5]. Применяя МИР к ДУ(16), запишем частные решения $z_1(\alpha)$ и $z_2(\alpha)$ в виде:

$$z_1(\alpha) = 1 - \int \left(\int D(\alpha) d\alpha \right) d\alpha + \int \left\{ \left(D(\alpha) \cup \left(\int D(\alpha) d\alpha \right) d\alpha \right) \right\} d\alpha - \dots, \quad (17)$$

$$z_2(\alpha) = \alpha - \int \left(\int \alpha D(\alpha) d\alpha \right) d\alpha + \dots \quad (18)$$

Скорость сходимости рядов-решений (17) и (18) достаточно хорошая [5, 6]. Поэтому в рядах (17) и (18) (при практическом их использовании) можно ограничиться небольшим числом членов в этих рядах. Наличие такой ситуации значительно облегчает дальнейшие исследования. Особенно это важно при числовых экспе-

риментах [5, 6]. При этом отметим, что ряды-решения (17) и (18) являются не приближенными, а точными, т. е. они тождественно удовлетворяют ДУ (16).

Частные решения (17) и (18) линейно независимы [5], поэтому общее решение ДУ (16) находится по формуле:

$$z(\alpha_0) = C_1 z(\alpha) + C_2 z_2(\alpha), \quad (19)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования, которые могут быть определены из заданных начальных условий:

$$z(\alpha_0) = z_0, \quad z'(\alpha_0) = z'_0.$$

Для нахождения общего решения ДУ (10) используется известная формула [9]:

$$P(\alpha) = P_{од}(\alpha) + P_{чн}(\alpha), \quad (20)$$

где $P_{од}(\alpha)$ – общее решение однородного ДУ (12), которое находится по формуле (19), а $P_{чн}(\alpha)$ – частное решение неоднородного ДУ (10).

Согласно (13) и (19), общее решение $P_{од}(\alpha)$ можно представить в виде

$$P_{од}(\alpha) = e^{-\frac{1}{2} \int A d\alpha} [C_1 z_1(\alpha) + C_2 z_2(\alpha)], \quad (21)$$

а частное решение неоднородного ДУ (10) находится по формулам [10]:

$$P_{чн}(\alpha) = P_2(\alpha) \int \frac{P_1(\alpha) f(\alpha)}{W(\alpha)} d\alpha - P_1(\alpha) \int \frac{P_2(\alpha) f(\alpha)}{W(\alpha)} d\alpha, \quad (22)$$

где

$$P_1(\alpha) = e^{-\frac{1}{2} \int A d\alpha} z_1(\alpha); \quad (23)$$

$$P_2(\alpha) = e^{-\frac{1}{2} \int A d\alpha} z_2(\alpha); \quad (24)$$

$W(\alpha)$ – определитель Вронского:

$$W(\alpha) = \begin{vmatrix} P_1(\alpha) & P_2(\alpha) \\ P_1'(\alpha) & P_2'(\alpha) \end{vmatrix}.$$

Для упрощения дальнейших выкладок в формулах (11) будем полагать $a = 0$, $k_1 = 1$, тогда

$$A(\alpha) = \frac{2dV}{Vdt}, \quad B(\alpha) = \frac{d^2V}{Vd\alpha^2}. \quad (25)$$

Подставляя выражения (23) и (24) в (25), имеем

$$A(\alpha) = \frac{2 \sin \alpha}{1 - \cos \alpha}, \quad B(\alpha) = \frac{\cos \alpha}{1 - \cos \alpha}. \quad (26)$$

Учитывая (26), ДУ (16) примет вид:

$$z'' - \frac{4}{(1 - \cos \alpha)^2} z = 0. \quad (27)$$

Теперь запишем одно решение ДУ (28). Согласно (17) во втором приближении $z_1(\alpha)$ запишется так:

$$z_1(\alpha) = 1 + 4 \int \left(\int \frac{d\alpha}{(1 - \cos \alpha)} \right) d\alpha - \dots \quad (28)$$

После интегрирования получим:

$$z_1(\alpha) = 1 + \frac{2}{3} \operatorname{ctg}^2 \alpha - \ln |\operatorname{tg} \alpha| - \dots \quad (29)$$

Тогда $P_1(\alpha)$ найдем по формуле:

$$P_1(\alpha) = e^{-\frac{1}{2} \int \frac{2 \sin \alpha}{1 - \cos \alpha} d\alpha} z_1(\alpha) = \frac{1}{1 - \cos \alpha} \left(1 + \frac{2}{3} \operatorname{ctg}^2 \alpha - \ln |\operatorname{tg} \alpha| \right). \quad (30)$$

Используя выражение

$$D(\alpha) = -\frac{4}{(1 - \cos \alpha)^2}, \quad \text{находим } z_2(\alpha) \text{ по}$$

формуле (18). Тогда общее решение ДУ (10) строится согласно (20), учитывая при этом выражение $P_{од}(\alpha)$ (21) и $P_{чн}(\alpha)$ (22). Используя выражение

$$D(\alpha) = -\frac{4}{(1 - \cos \alpha)^2},$$

находим $z_2(\alpha)$ по формуле (18). Тогда общее решение ДУ (10) строится согласно (20), учитывая при этом выражение $P_{од}(\alpha)$ (21) и $P_{чн}(\alpha)$ (22).

На рисунке 4 изображен график решения функции (30), из которого видно, что давление в результате его колебания приобретает предельные значения при изменении угла поворота коленчатого вала в пределах от 20 до 75°.

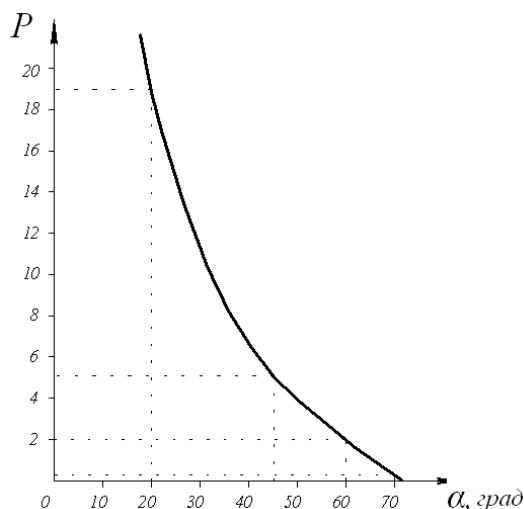


Рисунок 4 – График изменения давления в цилиндре при переменном угле поворота коленчатого вала

Выводы и направление дальнейших исследований.

Полученные в работе с помощью интегральных рядов уравнения собственных колебаний давления газа во всасывающей системе поршневого компрессора являются необходимым, но еще недостаточным условием определения влияния этих колебаний на производительность компрессора. Задачей дальнейшего исследования является установление закономерностей между газодинамическими явлениями во всасывающей системе и термодинамическими процессами, имеющими место при всасывании, сжатии, нагнетании и расширении сжатого воздуха из вредного пространства, что дает возможность определить положительные и отрицательные стороны резонансной интенсификации поршневых компрессоров.

Библиографический список

1. Френкель М.И. Поршневые компрессоры / М.И. Френкель. — М. : Машиностроение, 1969. — 742 с.
2. Боднер В.А. Повышение мощности двигателя внутреннего сгорания / В.А. Боднер // Дизелестроение, 1939. — № 10–11. — С. 48–51.
3. Рутковский Ю.А. Повышение подачи поршневых компрессоров путем использования резонансных колебаний давления газа во всасывающих системах / Ю.А. Рутковский // Уголь Украины, 2011. — № 7. — С. 26–31.
4. Рутковский Ю.А. Резонансные волновые процессы во всасывающих системах поршневых компрессоров / Ю.А. Рутковский // Технические газы. — 2010. — № 2. — С. 20–29.
5. Різун В.І. Метод інтегральних рядів (МІР) / В.І. Різун // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації, 2009. — № 1(18). — С. 72–82.
6. Різун В.І. Застосування методу інтегральних рядів в задачах електричних ланцюгів / В.І. Різун // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації, 2009. — № 2(19). — С. 119–123.
7. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубе / И.А. Чарный. — М. : Гостехиздат, 1951. — 305 с.
8. Кондратьева Т.Ф. Теоретические положения акустического наддува поршневых компрессоров / Т.Ф. Кондратьева, Ф.П. Петрова // Труды НИИХиммаша. — М. : Машиностроение, 1965. — № 48. — С. 40–51.
9. Камкэ Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям / Э. Камкэ. — М. : ФМ, 1961. — 704 с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Новохатским А.М.,
помощником главного инженера ПАО «АМК» Колесниковым М.В.*

Статья поступила в редакцию 22.01.16.

к.т.н. Рутковський Ю.О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР), **к.ф.м.н. Різун В.І.** (м. Луганськ, ЛНР), **к.т.н. Рутковський О.Ю.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР), **Найчук В.В.** (інженер-конструктор Сумського НВО, м. Суми, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ТИСКУ У ВСМОКТУВАЛЬНІЙ СИСТЕМІ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА ПРИ РУСІ ГАЗУ В НІЙ З ДОЗВУКОВОЮ ШВИДКІСТЮ

Розглянуто питання виникнення та поширення хвиль тисків газу у всмоктувальній системі поршневого компресора, що складається з трубопроводу, клапана, що всмоктує, і змінного об'єму циліндра, що підключається до трубопроводу в період всмоктування. Отримано диференціальні рівняння, що дозволяють визначити амплітуду і фазу власних коливань тиску газу в трубі, що рухається з дозвуковою швидкістю, з наявністю на кінці ємності зі змінною місткістю. Вперше це рівняння вирішено методом інтегральних рядів.

Ключові слова: компресор, усмоктувальна система, диференціальні рівняння, коливання тиску, циліндр, інтегральні ряди, визначник Вронського.

PhD in Engineering Rutkovskiy Yu.A. (DonSTU, Alchevsk, LPR), **PhD in Physics and Mathematics Rizun V.I.** (Lugansk, LPR), **PhD in Engineering Rutkovskiy A.Yu.** (DonSTU, Alchevsk, LPR), **Naichuk V.V.** (design engineer at PJSC "Sumy Machine-Building Science", Sumy, Ukraine)

INVESTIGATION OF PRESSURE FLUCTUATION IN SUCTION SYSTEM OF PISTON COMPRESSOR CONSIDERING SUBSONIC GAS FLOW

In the paper it has been analyzed the formation and distribution of gas pressure waves in the suction system of piston compressor consisting of pipeline, suction valve, and variable displacement volume connected to pipeline at suction. Obtained differential equations allow the authors to determine amplitude and phase of gas pressure fluctuation in the pipeline with variable capacity of the reservoir at its end. For the first time the equation was solved by integral equation method.

Key words: compressor, suction system, differential equations, pressure fluctuation, cylinder, integral lines, Wronskian determinant.

УДК 621.774.372

к.т.н. Денищенко П.Н.,
Королёв К.Г.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, omdim2009@rambler.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ДЕФОРМИРУЮЩЕЙ ЗОНЫ РАДИАЛЬНЫХ ВОЛОК ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ТРУБ НА ЗАКРЕПЛЕННОЙ ОПРАВКЕ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

Разработана конечно-элементная модель волочения труб на закреплённой оправке. Получены поля распределения напряжений по Мизесу и эквивалентной пластической деформации для различных конфигураций геометрии деформирующей зоны радиальных волок.

Ключевые слова: волочение труб, труба, оправка, радиальная волока, конечно-элементная модель, напряженно-деформированное состояние.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Основная деформация труб на короткой закреплённой оправке при их волочении осуществляется в рабочей или деформирующей зоне волоки, представляющей собой сужающийся кольцевой канал по ходу движения трубы. Форма продольного профиля деформирующей зоны волоки в значительной степени определяет качество получаемых труб, стойкость волок, энергосиловые параметры процесса волочения.

Известно несколько видов профиля канала волоки (рис. 1) [1]: конический, радиальный (выпуклый), вогнутый и сигмоидальный. В большинстве случаев оптимальную геометрию этой формы определяют на основе производственного опыта с учетом возможностей обработки и переработки канала волоки. В современном волочильном производстве наиболее распространена коническая форма как самая оптимальная для обработки шлифовкой. Основные геометрические параметры конической формы деформирующей зоны волоки определяют опытным путем. Реже применяется радиальная форма.

Существуют работы, посвященные исследованию влияния формы деформирующей зоны волоки при волочении стальной проволоки [2, 3]. Однако для процессов волочения труб подобных исследований нет, а разработанные математические модели создавались для условий волочения в коническом канале волоки [4-7]. Поэтому подоб-

ные исследования применительно к процессам волочения труб представляют интерес.

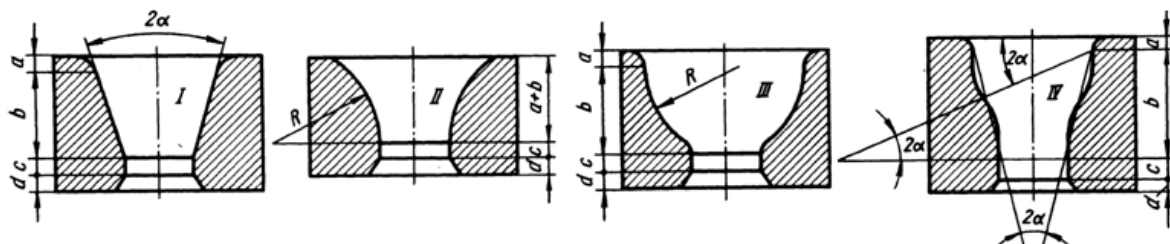
Постановка задачи. Задачей данной работы является разработка конечно-элементной математической модели процесса волочения труб на короткой закреплённой оправке и исследование локальных и интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния металла при различных параметрах геометрии радиальных волок.

Изложение материала и его результаты. На базе программного комплекса ABAQUS была разработана конечно-элементная математическая модель, описывающая осесимметричную задачу волочения трубы на короткой закреплённой оправке. Модель состоит из абсолютно жестких недеформируемых тел: волоки и оправки, а также протягиваемой деформируемой трубы, которая представляет собой сетку из изопараметрических четырехугольных линейных элементов с редуцированной схемой интегрирования, имеющих свойства сплошной гомогенной деформируемой среды. Была использована процедура адаптации сетки в формулировке Лагранжа-Эйлера. Трение между контактными парами «внутренняя поверхность трубы – оправка» и «внешняя поверхность трубы – волока» задавалось с использованием закона трения Кулона, коэффициент трения принимался $\mu=0,08$.

Исходные данные для расчета: труба из стали Ст20 размерами 83х3,1 мм протягивается на размер 71х2,5 мм. Исследовались профили канала валок: конический с $\alpha = 12^\circ$ (рис. 2, а), радиальный с радиусом образующих $R = 83$ мм (рис. 2, б), $R = 41,5$ мм (рис. 2, в), $R = 20,75$ мм (рис. 2, г). Во всех профилях исследуемых волок длина калибрующей зоны 5 мм, диаметр калибрующей

зоны соответствует наружному диаметру готовой трубы 71 мм, а диаметр цилиндрической оправки соответствует внутреннему диаметру готовой трубы 66 мм.

В результате были получены поля распределения напряжений по Мизесу (рис. 3) и эквивалентной пластической деформации (рис. 4), возникающих в деформационной зоне.



*I – конический; II – радиальный; III – вогнутый; IV – сигмоидальный;
а – входная распушка; б – рабочий конус; с – калибрующий пояс; д – выходная распушка*

Рисунок 1 – Различные профили канала волокна

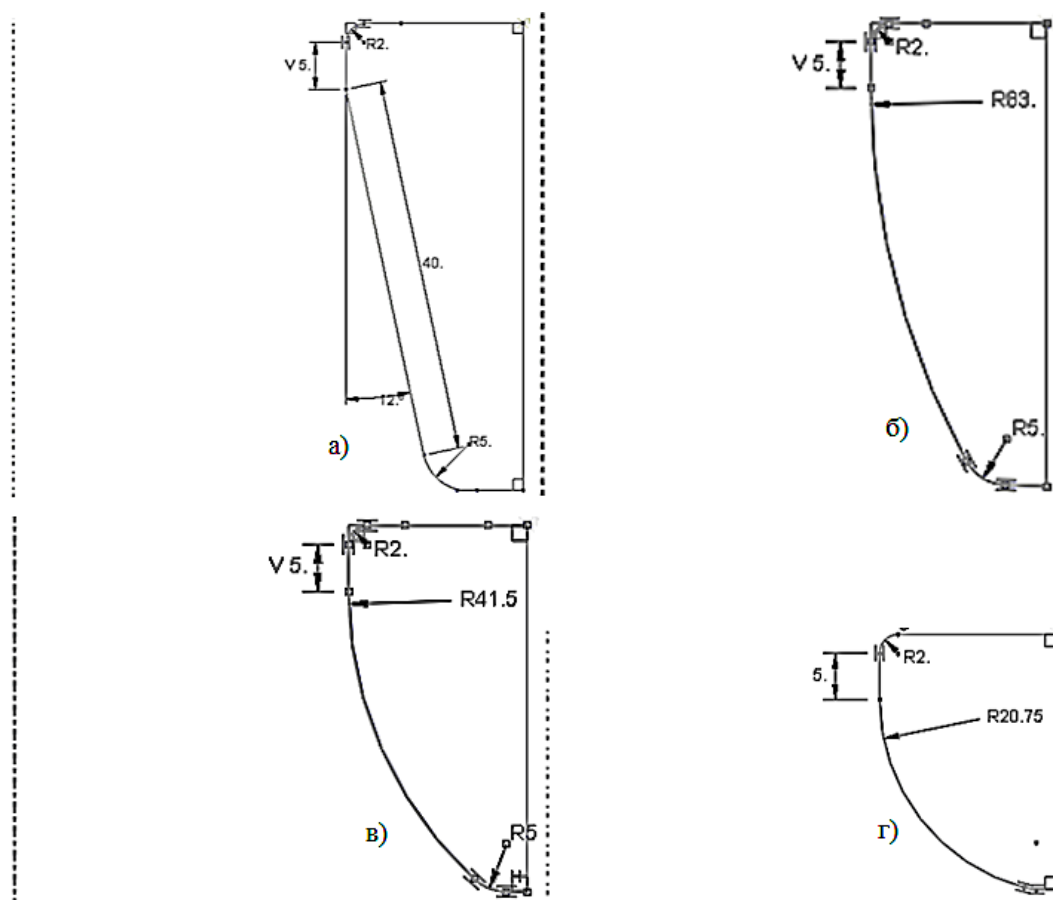


Рисунок 2 – Исследуемые профили канала волокна

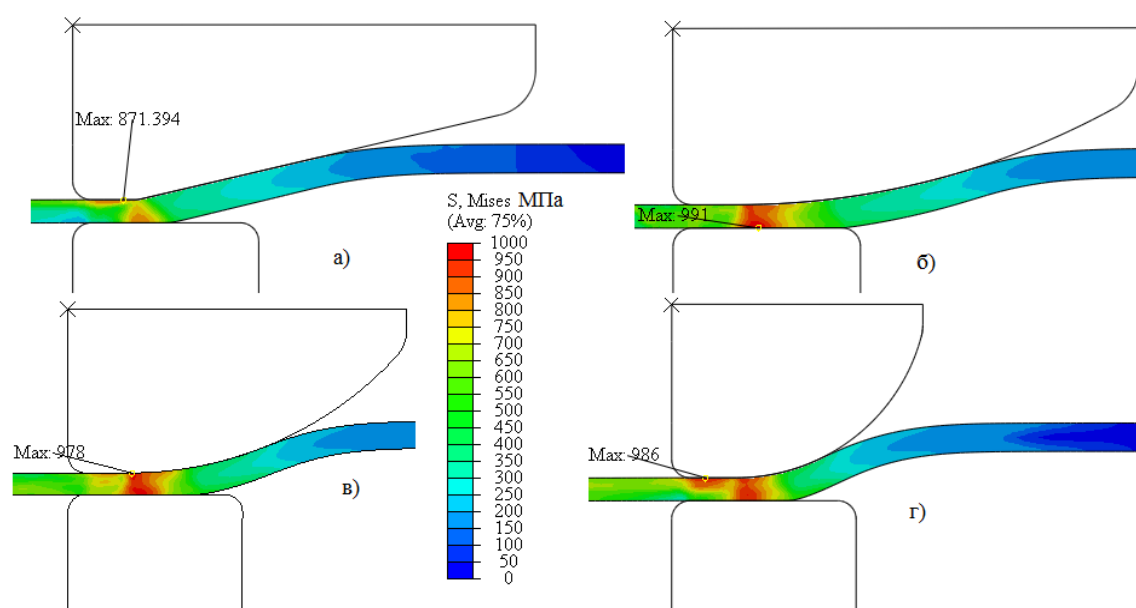


Рисунок 3 – Поля распределения напряжений по Мизесу

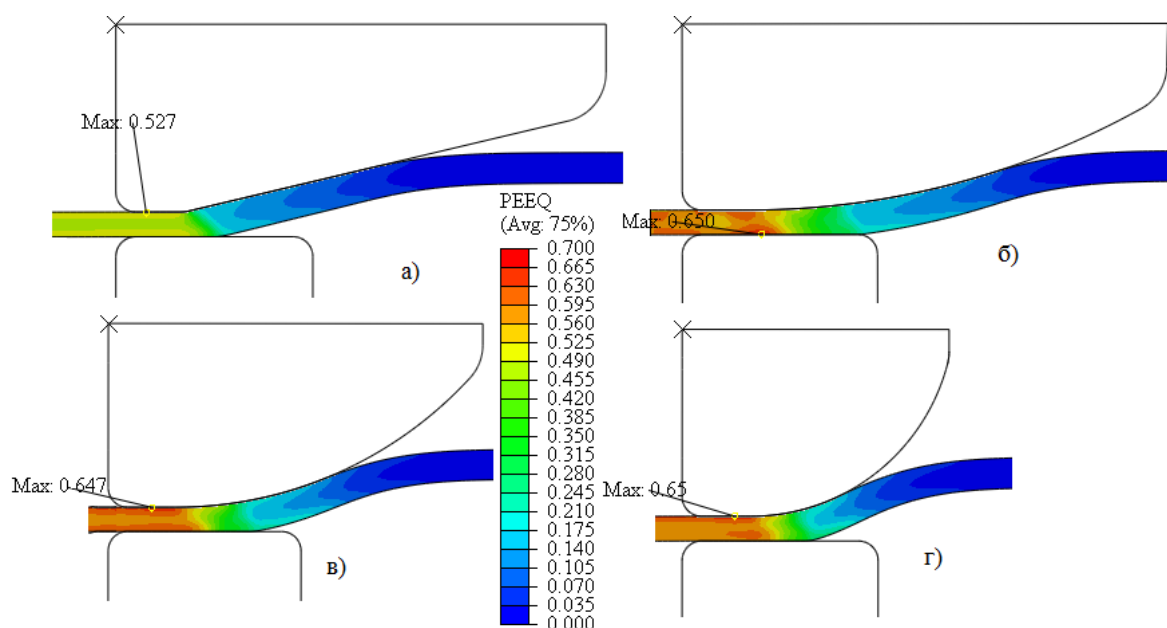


Рисунок 4 – Поля распределения эквивалентной пластической деформации

Максимальные напряжения возникают в калибрующей зоне в тонком приконтактном с конической волокой слое трубы и достигают 871 МПа (рис. 3, а). Также имеется область с повышенными напряжениями в трубе со стороны контакта с оправкой в начале калибрующей зоны. Деформация по толщине стенки выхода-

щей трубы находится в диапазоне от 0,42 в середине стенки до 0,527 на периферии (рис. 4, а).

Для случая волочения в волоке с радиальным профилем канала $R = 83$ мм область максимальных напряжений находится в начале калибрующей зоны и проходит через всю толщину стенки. При этом напряжения

достигают 991 МПа в месте соприкосновения с оправкой (рис. 3, б). Деформации по толщине стенки выходящей трубы находятся в диапазоне от 0,49 в середине стенки до 0,65 на периферии (рис. 4, б).

При волочении в радиальном профиле канала волокна с $R = 41,5$ мм область максимальных напряжений расположена аналогично случаю радиальной волокна с $R = 83$ мм, однако максимальные напряжения находятся в месте контакта трубы и волокна и достигают 978 МПа (рис. 3, в). Распределение деформаций по толщине стенки трубы находится в пределах от 0,56 в центре стенки и до 0,647 на периферии (рис. 4, в).

Для случая волочения в волокне с радиальным профилем канала $R = 20,75$ мм имеется две зоны с интенсивными напряжениями: в начале калибрующей зоны (проходит через всю толщину стенки), и в середине калибрующей зоны (со стороны волокна до середины толщины стенки трубы), где достигают максимальных значений 986 МПа (рис. 3, г). Максимальные

деформации находятся в области контакта трубы с калибрующей зоной волокна и достигают 0,65, в середине и области контакта с оправкой деформации находятся на уровне 0,56 (рис. 4, г).

Следует отметить наличие зон с внеконтактной деформацией при волочении в радиальных волокнах, размер которых увеличивается с уменьшением радиуса кривизны образующей профиля волокна.

Выводы и направление дальнейших исследований. В результате анализа полученных данных установлено, что при волочении труб на закрепленной оправке в конической волокне максимальные напряжения, возникающие в стенке трубы, значительно ниже, а распределение деформации более равномерно, чем в радиальных волокнах. Поэтому для волочения труб на закрепленной оправке рекомендуется использовать конические волокна. На базе разработанной конечно-элементной математической модели планируется проведение исследований вогнутых и сигмоидальных профилей волокон.

Библиографический список

1. Перлин И.Л. Теория волочения / И.Л. Перлин, М.З. Ерманок. — М. : Металлургия, 1971. — 448 с.
2. Исследование численным моделированием влияния формы деформирующей зоны волокна при волочении стальной высокоуглеродистой проволоки на температурное и напряженно-деформированное состояние в проволоке и волокне / О. Л. Бобарикин и др. // *Литье и металлургия: научно-производственный журнал*. — 2012. — № 3 (67). — С. 196–200.
3. Bartłomiej Pikos, Jan W. Pilarczyk, Bogdan Golis, Rafał Włodzik and Jan Krnac Zelezarny. Effect of drawing in sigmoidal, concave, convex and conical dies on mechanical properties of high carbon steel wires // *Conference Proceedings of The Wire Association. International, Inc. Sponsored by Niehoff. International Wire & Cable Conference, Bologna, Italy, November 2007*. — P. 216–227.
4. Касьянюк С.В. Расчет процесса волочения труб на неподвижной оправке на основе энергетического подхода / С.В. Касьянюк, С.Ю. Саплин, С.В. Чемерис // *Сб. науч. трудов «Обработка материалов давлением»*. — Краматорск, 2008. — № 1(19). — С. 130–134.
5. Каргин Б.В. Напряженно-деформированное состояние при безоправочном волочении тонкостенных труб с подпором / Б.В. Каргин, В.Р. Каргин, Т.С. Пастушенко // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. — 2012. — Т. 14, № 6. — С. 77–80.
6. Осадчий В.Я. Методика расчета напряжения волочения труб на короткой оправке / В.Я. Осадчий, Н.А. Малевич // *Сборник трудов научно-технической конференции «Информатика и технология»*. — М. : МГАПИ, 2005. — С. 38–49.
7. Малевич Н.А. Исследование моделей напряженно-деформированного состояния металла при волочении труб и разработка методики определения силовых параметров волочения на самоуставливающейся оправке : дис. канд. техн. наук. : 05.03.05 / Н.А. Малевич. — Москва, 2007. — 201 с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Новохатским А.М.,
пом. начальника цеха стана 600 ПАО «АМК» по технологии, к.т.н. Чичканом А.А.*

Статья поступила в редакцию 23.05.16.

к.т.н. Денищенко П.М., Корольов К.Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ДЕФОРМУЮЧОЇ ЗОНИ РАДІАЛЬНИХ ВОЛОК
ПРИ ВОЛОЧІННІ ТРУБ НА ЗАКРІПЛЕНІЙ ОПРАВЦІ НА НАПРУЖЕНО-
ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН**

Розроблено скінчено-елементну модель волочіння труб на закріпленій оправці. Отримані поля розподілу напружень по Мізесу і еквівалентної пластичної деформації для різних конфігурацій геометрії деформуючої зони радіальних волок.

Ключові слова: волочіння труб, труба, оправка, радіальна волока, скінчено-елементна модель, напружено-деформований стан.

PhD in Engineering Denishchenko P.N., Koroliov K.G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**INVESTIGATION THE INFLUENCE OF DEFORMING ZONE SHAPE OF RADIAL DIES
AT TUBE DRAWING ON FIXED MANDREL ONTO STRESS-STRAIN STATE**

A finite element model of tube drawing on a fixed mandrel has been developed. Fields of stress distribution by Mises and equivalent plastic deformation for different geometry configurations of radial dies deforming zone have been obtained.

Key words: tubes drawing, tube, mandrel, radial die, mathematical model, finite element model, stress-strain state.

УДК 621.983.3

к.т.н. Коробко Т.Б.,
Токарев А.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПРИ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА DEFORM 2D

В данной статье рассмотрено применение программного комплекса DeForm 2D для моделирования и анализа распределения толщины заготовки в процессе гофрирования осесимметричных деталей, а также для анализа опасности разрушения изделия в процессе вытяжки.

Ключевые слова: заготовка, гофрирование, напряженно-деформированное состояние, уравнение пластичности, уравнение равновесия, критерий разрушения.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В настоящее время большое внимание уделяется качеству выпускаемой продукции и оптимизации технологий производства. В работах [1, 2] исследуется штамп с поворотными дисками для получения изделий цилиндрической формы.

При помощи поворотных дисков производится образование гофра, при этом снижаются потери на трение на фланце, и происходит накопление металла во фланце с целью снижения тангенциальных напряжений. В конце стадии гофрирования заготовка имеет неравномерное распределение толщины, которое в процессе вытяжки с последующей протяжкой выравнивается. Для расчета распределения толщины заготовки в процессе непосредственной вытяжки в качестве начальных условий необходимо задавать распределение толщины заготовки по окончании стадии гофрирования.

Расчет распределения толщины в процессе гофрирования основан на анализе напряженно-деформированного состояния заготовки.

Постановка задачи. Задачей данной работы является анализ опасности разрушения изделий в процессах обычной вытяжки и при вытяжке в штампах с поворотными дисками.

Изложение материала и его результаты. Расчет распределения толщины являет-

ся довольно трудоемкой задачей, однако, учитывая интенсивное внедрение компьютерной техники во все сферы деятельности и, как следствие, актуальность автоматизации любых расчетов, можно ограничиться лишь записью основных, характерных для данного процесса, уравнений, позволяющих получить необходимый результат существующими численными методами.

В работе [2] проведен анализ напряженно-деформированного состояния металла на стадии гофрирования. Применение полученных выражений показало, что в предложенные уравнения равновесия и пластичности необходимо внести ряд дополнений. Кроме того, получение громоздких формул усложняет расчет (т.е. также требует автоматизации), а упрощения, принятые для их получения, способствуют зарождению погрешностей, величину которых трудно оценить.

На рисунке 1 приведена схема напряженно-деформированного состояния отдельных участков заготовки в процессе гофрирования.

Заготовку можно разбить на следующие участки:

- а) линейные горизонтальные – участки от центра заготовки до т. 1 и от т. 7 до края заготовки;
- б) закругленные – участки 1-2, 3-4, 4-5, 6-7;
- в) линейные конические – участки 2-3, 5-6.

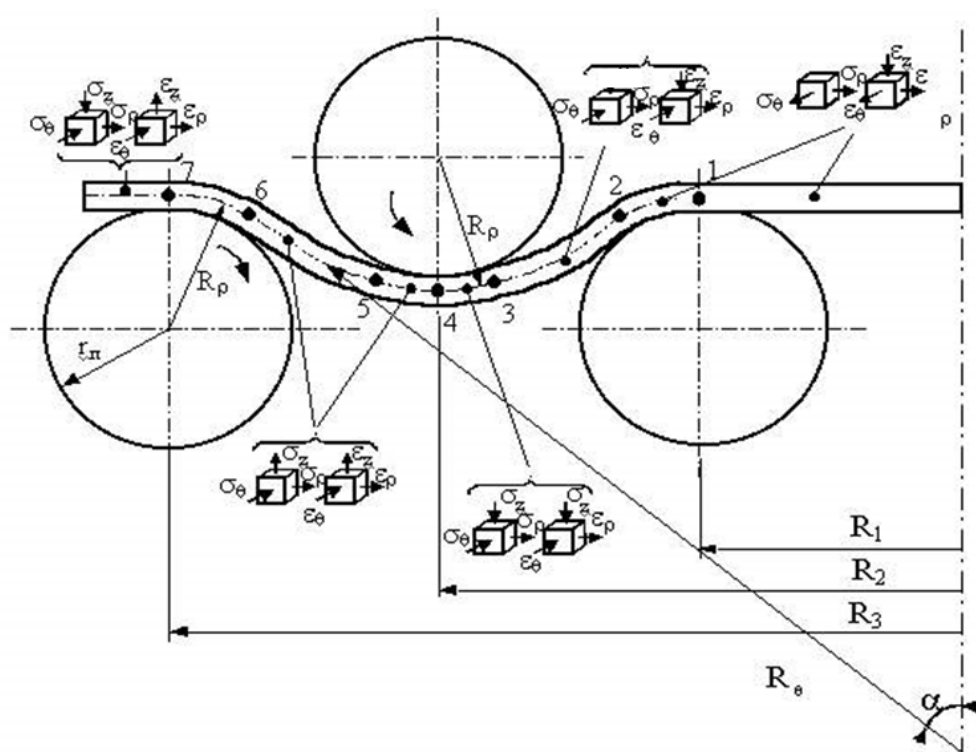


Рисунок 1 – Схема напряженно-деформированного состояния отдельных участков гофрированной заготовки

При составлении уравнений равновесия и пластичности для каждого из участков можно руководствоваться такими допущениями:

- напряженно-деформированное состояние металла плоское (пренебрегаем σ_z);
- распределение толщины по радиусу неоднородно;
- на линейных конических участках контакт с поверхностью штампа отсутствует;
- на участке от края заготовки до т. 7 действует прижим;
- при переходе через т. 4 производная $\frac{d\sigma_\rho}{d\rho}$ меняет знак;
- при переходе через т. 2 тангенциальное напряжение меняет знак (рис. 1).

Таким образом, в соответствии с [2] с учетом знаков радиусов R_ρ и R_θ уравнения равновесия и пластичности будут выглядеть следующим образом:

участок -1

$$\begin{cases} -\rho \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}\right) - \\ -\sigma_\theta \cdot (1 + \mu) = 0 \\ \sigma_\rho + \sigma_\theta = \beta \cdot \sigma_s \end{cases} ; \quad (1a)$$

участок 1-2

$$\begin{cases} -\rho \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}\right) - \sigma_\theta + \\ + \frac{\mu \cdot \rho}{\sin(\alpha)} \cdot \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta}\right) = 0 \\ \sigma_\rho + \sigma_\theta = \beta \cdot \sigma_s \end{cases} ; \quad (1б)$$

участок 2-3

$$\begin{cases} -\rho \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}\right) - \sigma_\theta = 0; \\ \sigma_\rho - \sigma_\theta = \beta \cdot \sigma_s \end{cases}; \quad (1в)$$

участок 3-4

$$\begin{cases} -\rho \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}\right) - \sigma_\theta - \\ - \frac{\mu \cdot \rho}{\sin(\alpha)} \cdot \left(\frac{\sigma_\rho}{R_\rho} - \frac{\sigma_\theta}{R_\theta}\right) = 0 \\ \sigma_\rho - \sigma_\theta = \beta \cdot \sigma_s \end{cases}; \quad (1г)$$

участок 4-5

$$\begin{cases} \rho \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}\right) - \sigma_\theta - \\ - \frac{\mu \cdot \rho}{\sin(\alpha)} \cdot \left(\frac{\sigma_\theta}{R_\theta} + \frac{\sigma_\rho}{R_\rho}\right) = 0 \\ \sigma_\rho - \sigma_\theta = \beta \cdot \sigma_s \end{cases}; \quad (1д)$$

участок 5-6

$$\begin{cases} \rho \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}\right) - \sigma_\theta = 0; \\ \sigma_\rho - \sigma_\theta = \beta \cdot \sigma_s \end{cases}; \quad (1е)$$

участок 6-7

$$\begin{cases} \rho \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}\right) - \sigma_\theta - \\ - \frac{\mu \cdot \rho}{\sin(\alpha)} \cdot \left(\frac{\sigma_\theta}{R_\theta} - \frac{\sigma_\rho}{R_\rho}\right) = 0 \\ \sigma_\rho - \sigma_\theta = \beta \cdot \sigma_s \end{cases}; \quad (1ж)$$

участок 7

$$\begin{cases} \rho \cdot \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}\right) - \\ - \sigma_\theta \cdot (1 + \mu) = 0 \\ \sigma_\rho - \sigma_\theta = \beta \cdot \sigma_s \end{cases}, \quad (1з)$$

где ρ , S – текущий радиус и толщина рассматриваемого элемента;

σ_ρ , σ_θ – радиальное и тангенциальное напряжения;

μ – коэффициент трения между элементом и инструментом;

R_ρ и R_θ – радиусы кривизны срединной поверхности элемента в меридиональном и широтном сечениях;

α – угол между касательной к срединной поверхности заготовки в меридиональном сечении в данной точке и осью симметрии.

В уравнениях равновесия составляющую $\frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho}$ можно определить из уравнения связи напряжений и деформаций и закона сохранения объема [3]:

$$\frac{\rho \cdot dS}{S \cdot d\rho} = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{\sigma_\rho - 2 \cdot \sigma_\theta}. \quad (2)$$

Из геометрических соображений радиусы R_ρ и R_θ можно заменить функциями:

$$R_\rho = \frac{|\rho - R'|}{\cos(\alpha)}; \quad R_\theta = \frac{\rho}{\sin(\alpha)}, \quad (3)$$

где R' – радиус оси ближайшего поворотного диска (R_1 , R_2 или R_3).

В процессе гофрирования металл претерпевает упрочнение. Поэтому в выражениях (1) величина σ_s является переменной, зависящей от деформации металла. В данном случае для учета упрочнения металла при дискретизации расчета недопустимо использование степенных функций в связи с большой погрешностью вычислений при малых деформациях. Для этого используем выражение [3, 4]:

$$\sigma_s = \sigma_m + \left(\frac{\sigma_s}{1 - \psi_{ш}} - \sigma_m \right) \times \left(\frac{\psi}{\psi_{ш}} \right)^{\frac{\sigma_s \cdot \psi_{ш}}{(1 - \psi_{ш}) \cdot [\sigma_s - \sigma_m \cdot (1 - \psi_{ш})]}} \quad (4)$$

где σ_t , σ_b – пределы текучести и прочности;

$\psi_{ш}$ – относительное уменьшение площади поперечного сечения к моменту начала образования шейки;

ψ – текущее значение относительной деформации [4]:

$$\psi_i = 1 - \frac{\rho_i}{\rho_{0i}} \quad (5)$$

где ρ_i , ρ_{0i} – радиус элемента после и до деформации.

При расчете деформаций в зависимости от рассчитанного поля напряжений будем руководствоваться следующими уравнениями:

– уравнение связи напряжений и деформаций, составленное в соответствии с диаграммами Мора [4], которое при $\sigma_z \approx 0$ сводится к виду:

$$\frac{\sigma_p}{\sigma_\theta} = \frac{d\varepsilon_p - d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\theta - d\varepsilon_z} \quad (6)$$

где $d\varepsilon_p$, $d\varepsilon_\theta$, $d\varepsilon_z$ – приращения деформаций, соответственно, в меридиональном, широтном направлениях, а также перпендикулярно срединной поверхности заготовки;

– закон сохранения объема:

$$\frac{l \cdot S \cdot \rho}{l_0 \cdot S_0 \cdot \rho_0} = 1 \quad (7)$$

где l , S , ρ , l_0 , S_0 , ρ_0 – длина, толщина и радиус элемента после и до деформации;

– уравнение связи приращения радиуса элемента с приращением его длины (из геометрических соображений):

$$\Delta\rho = \Delta\rho_{\max} - \Delta l \cdot \sin(\alpha) - \Delta\rho_1 \quad (8)$$

где $\Delta\rho$ – действительное изменение радиуса рассматриваемого элемента;

$\Delta\rho_{\max}$ – изменение радиуса рассматриваемого элемента без учета удлинения;

Δl – изменение длины рассматриваемого элемента;

$\Delta\rho_1$ – изменение радиуса элемента за счет удлинения предыдущих элементов.

Приращения деформаций $d\varepsilon_p$, $d\varepsilon_\theta$, $d\varepsilon_z$ в соответствии с [3] можно заменить отношением соответствующего приращения к соответствующему параметру:

$$d\varepsilon_p = \frac{dl}{l}; d\varepsilon_\theta = \frac{d\rho}{\rho}; d\varepsilon_z = \frac{dS}{S} \quad (9)$$

Исходя из выражений (6)-(9), можно построить алгоритм расчета деформаций, основываясь на рассчитанном поле напряжений и геометрических размерах штампа и исходной заготовки.

Алгоритм расчета процесса деформации основывается на следующем:

– процесс гофрирования разбивается на n шагов по высоте опускания прижима H :

$$n = \frac{H}{\Delta H} \quad (10)$$

где ΔH – шаг изменения высоты прижима;

– заготовка разбивается на $\rho_{\max}/\Delta\rho$ элементов, для каждого из которых рассчитываются деформации;

– в приведенных выражениях все приращения d заменяются на Δ ;

– поле напряжений при определенном $H=n \cdot \Delta H$ рассчитывается приближенно по данным деформаций, полученных при $H=(n-1) \cdot \Delta H$, но с учетом формообразования, т.е. перемещения рассматриваемого элемента без учета его деформации на данном шаге гофрирования;

– расчет геометрических параметров заготовки ведется поэлементно, начиная от центра заготовки, а поля напряжений – от края заготовки, причем радиальное напряжение на краю заготовки под прижимом определится как [3]:

$$\sigma_{кр.з.} = \frac{\mu Q}{\pi \rho_{\max} S} \quad (11)$$

где ρ_{\max} – диаметр заготовки на данном шаге гофрирования;

– на определенном шаге гофрирования определяется угол α_{\min} , затем все геометрические параметры определяются в зависимости от него;

– поле напряжений и деформаций определяется методом итераций с предварительно задаваемой точностью;

– коэффициент трения μ определяется поэлементно в зависимости от соотноше-

ния площадей подвижной и неподвижной частей на данном радиусе.

Выполнен сравнительный анализ технологии глубокой вытяжки в штампе с поворотными дисками и в обычном вытяжном штампе.

В программном комплексе DeForm 2D были смоделированы соответствующие процессы вытяжки.

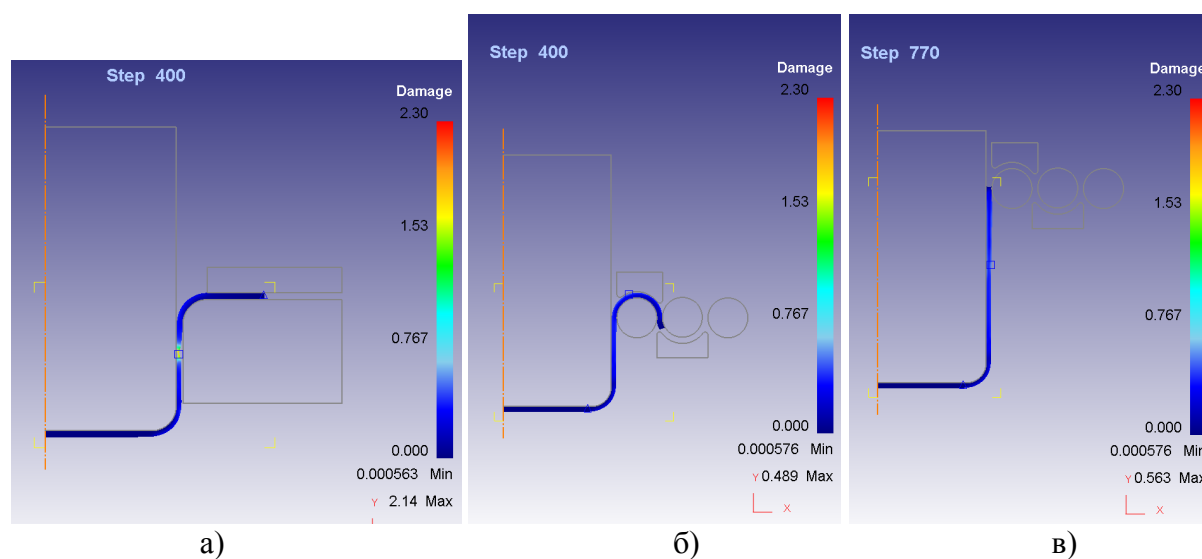


Рисунок 2 – Опасность разрушения изделия в процессах:

а) – обычная вытяжка (разрушение на 400-м шаге расчета); б) и в) – вытяжка в штампе с поворотными дисками на 400-м и 770-м (последнем) шаге моделирования

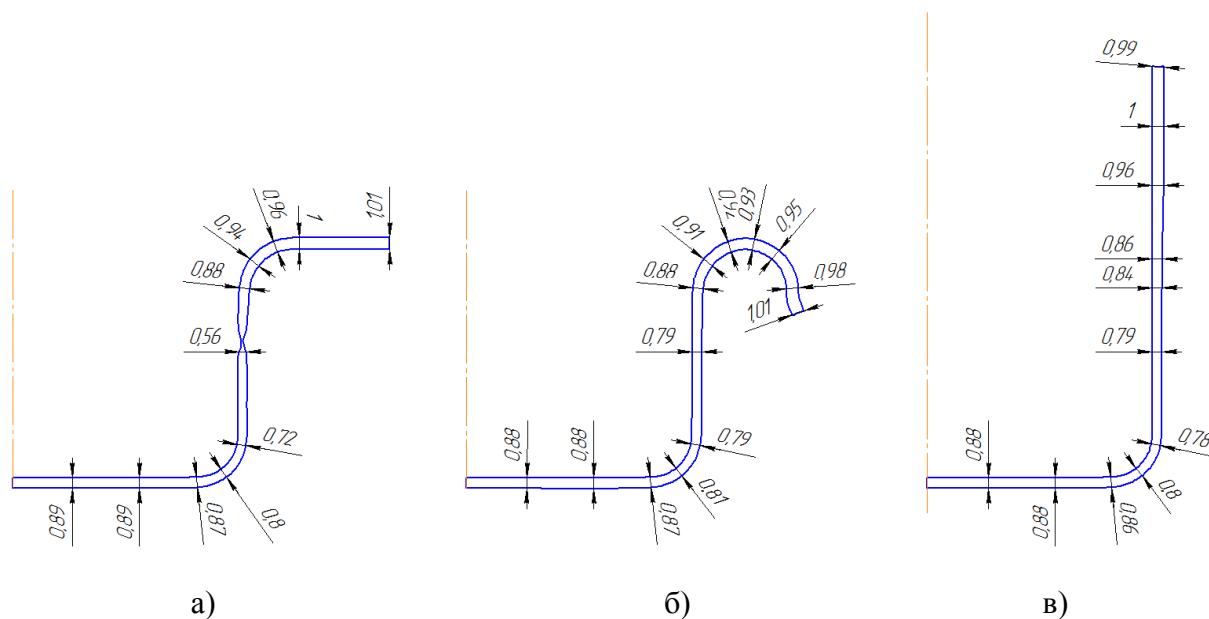


Рисунок 3 – Распределение толщин изделия в процессах:

а) – обычная вытяжка (разрушение на 400-м шаге расчета); б) и в) – вытяжка в штампе с поворотными дисками на 400-м и 770-м (последнем) шаге моделирования без разрушения

Анализ моделей показал преимущество вытяжки в штампе с поворотными дисками с предварительным профилированием заготовки по сравнению с обычной вытяжкой с плоским прижимом.

Выводы и направление дальнейших исследований.

В результате исследований разработан алгоритм расчета распределения толщины

заготовки в процессе гофрирования в штампе с поворотными дисками. Данный алгоритм позволяет вносить корректировки при появлении дополнительных условий (внешние тепловые или электромагнитные воздействия, профилированная исходная заготовка и др.).

Библиографический список

1. Коробко Т.Б. Двухплоскостное перемещение инструмента при глубокой вытяжке с волочением осесимметричных деталей: Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні / Т.Б. Коробко, Г.И. Майоров. — Краматорськ-Хмельницький. — 2002. — С. 30–32.
2. Коробко Т.Б. Анализ напряженно-деформированного состояния при получении кольцеобразного гофра на заготовке под вытяжку: Металлургическая и горнорудная промышленность / Т.Б. Коробко., Г.И. Майоров // Сборник научных трудов, 2002. — № 8,9. — С. 499–504.
3. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки : учебное пособие для вузов / Е.А. Попов. — изд. 2-е, перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1977. — 278 с., ил.
4. Сторожев М.В. Теория обработки металлов давлением : учебник для вузов / М.В. Сторожев., Е.А. Попов. — изд. 4-е, перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1977. — 423 с., ил.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Новохатским А.М.,
пом. начальника цеха стана 600 по технологии ПАО "АМК" Чичканом А.А.*

Статья поступила в редакцию 26.05.16.

к.т.н. Коробко Т.Б., Токарев О.В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТОВЩИНИ ПРИ ГЛИБОКОМУ ВИТЯГУВАННІ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАКЕТУ DEFORM 2D

У даній статті розглянуто застосування програмного комплексу DeForm 2D для моделювання та аналізу розподілу товщини заготовки в процесі гофрування вісесиметричних деталей, а також для аналізу небезпеки руйнування виробів в процесі витягування.

Ключові слова: заготовка, гофрування, напружено-деформований стан, рівняння пластичності, рівняння рівноваги, критерій руйнування.

PhD Korobko T.B., Tokarev A.V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

SIMULATION RESULTS ON THICKNESS DISTRIBUTION DURING DEEP DRAWING OF AXISYMMETRIC PARTS USING DEFORM 2D SOFTWARE PACKAGE

This article deals with the application of DeForm 2D software package for modeling and analyzing of thickness distribution of the ingot during the corrugating of rotationally symmetric parts, as well as to analyze the risk of breaking products during the drawing process.

Key words: ingot, corrugating, stress-strain state, plasticity equation, equilibrium equation, failure criterion.

**СТРОИТЕЛЬСТВО
И
АРХИТЕКТУРА**

УДК 628.46+691:620.19

к.т.н. Будзило Е.Е.,
к.т.н. Горовая Н.А.,
к.т.н. Псюк В.В.,
к.т.н. Усенко В.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

НОВЫЙ МЕТОД УСТРОЙСТВА ГИДРОИЗОЛЯЦИИ С УТЕПЛЕНИЕМ ПОДВАЛЬНОЙ ЧАСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Предлагается технологическое решение устройства утепления подвальной части здания с использованием бытовых отходов в качестве основного заполнителя опалубки, что позволит улучшить комфортность проживания.

Ключевые слова: утилизация отходов, гидроизоляция, теплоизоляционные работы.

Введение. Подвальная часть зданий подвергается интенсивным воздействиям грунтовых вод и атмосферных осадков, что приводит к значительным повреждениям гидроизоляции. Это неизбежно влечет за собой необходимость принятия эффективных мер по её защите. При этом стоимость ремонтно-восстановительных работ может многократно превышать стоимость устройства самой гидроизоляции.

Вследствие нарушения технологии выполнения гидроизоляционных работ требуется преждевременное восстановление гидроизоляции. Наружный и внутренний ремонт гидроизоляции приводит к дополнительным расходам, сопряженным со сложностью выполнения работ в стесненных условиях [1]. В свою очередь, это влечет за собой неудобства проживания в домах в период выполнения ремонта.

Теплый подвал без сырости, препятствует образованию плесени и грибков, улучшая комфортность проживания в домах. При этом подвальная часть здания может эксплуатироваться как дополнительный этаж (комнаты отдыха, подсобные помещения и т. д.).

В настоящее время актуальной является проблема утилизации бытовых отходов, в частности, пластиковых бутылок. В данной работе предлагается метод устройства гидроизоляции с теплоизоляцией подвальной части зданий с помощью бытовых отходов.

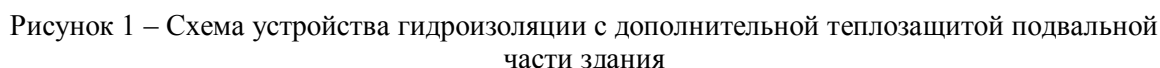
Цель данной работы – разработка технологии устройства гидроизоляции с теплоизоляцией подвальной части зданий с помощью бытовых отходов.

Изложение материала и его результаты. Перед началом работ по дополнительному утеплению необходимо выполнить монтаж плит подвального перекрытия (для безопасности и упрощения технологии производства).

Вдоль боковой поверхности ленточного фундамента устанавливается несъемная опалубка из стеклотекстолита, винилпластика и т. д. Опалубка устанавливается по всему контуру здания с заглублением ниже подошвы фундамента на 0,1-0,15 м. Крепление опалубки между собой, в местах ее сопряжения осуществляется таврами или уголками с полками длиной 0,05 м, причем ширина паза должна быть на 1-2 мм больше ширины опалубки (для удобства их закрепления). Дополнительная жесткость конструкции создается металлическими уголками и стойками с шагом 2-3 метра (в зависимости от габаритных размеров подвальной части), закрепленными снаружи опалубки с заглублением на 0,01 м. По верхнему контуру и посередине, опалубка, в местах установки стоек, раскрепляется распорками. Образованный при этом шурф шириной 0,25-0,3 м (в зависимости от ширины подошвы фундамента) сверху закрывается металлической сеткой, закрепленной на анкерах. По-

Для обеспечения однородности теплоизоляции шурф заливается полимерцементной смесью. Так как плотность смеси больше плотности пластикового заполнения, то

сетка будет выполнять роль фиксатора, что сохранит целостность конструкции. Учитывая, что бутылки составляют 80-85% объема шурфа, расход полимерцементной смеси будет незначительным. Для облегчения работ в местах стыковки опалубки можно устанавливать поперечные стенки из материала опалубки, что позволит выполнять заливку по отсекам (рис. 1).



Данный метод устройства гидроизоляции предполагает проведение дальнейших

- определение теплотехнических показателей пакета утеплителя.

1. Применение пластиковых бутылок в качестве основного материала для утепления позволяет произвести их утилизацию наиболее экономичным способом, т. к. нет необходимости искать решения по их переработке.

2. Принимая во внимание фактор долговечности пластика, следует отметить, что эксплуатационная надежность предлагаемой конструктивной формы не вызывает сомнения.

Библиографический список

1. Михеев А.П. Проектирование зданий и застройки населенных мест с учетом климата и энергосбережения : учебное пособие / А.П. Михеев, А.М. Береговой, Л.Н. Петрянина. — М., 2002. — 160 с.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. ДонГТУ Долголаптевым В.М., и.о. начальника ОКСа Алчевской Администрации Дема В.Н.

Статья поступила в редакцию 29.04.16.

к.т.н. Будзило О.Є., Горова Н.А., Псюк В.В., Усенко В.М. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

НОВИЙ МЕТОД ВЛАШТУВАННЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ З УТЕПЛЕННЯМ ПІДВАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Пропонується технологічне рішення влаштування гідроізоляції і утеплення підвальної частини будівлі з використанням побутових відходів в якості основного заповнювача опалубки, що дозволить полішити комфортність проживання.

Ключові слова: утилізація відходів, гідроізоляція, теплоізоляційні роботи.

PhD in Engineering Budzilo E.E., PhD in Engineering Gorovaia N.A., PhD in Engineering Psjuk W.W., PhD in Engineering Usenko W.N. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

A NEW METHOD OF WATERPROOFING WITH HEAT INSULATION OF A BASEMENT IN THE INDIVIDUAL HOUSES

A new technology concept for heat insulation of a basement using the domestic wastes as a main formwork filler allows improving the amenities of inhabitation.

Key words: material recovery, waterproofing, heat insulation works.

УДК 728.3+69.057.5:691.175.746

к.т.н. Усенко В.Н.,
к.т.н. Будзило Е.Е.,
к.т.н. Горвая Н.А.,
ст. пр. Кубышкина И.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

СТРОИТЕЛЬСТВО «ПАССИВНЫХ» ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКИ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

Проведен анализ существующих конструктивно-технологических решений строительства индивидуальных зданий и преимущества использования в монолитном строительстве несъемной опалубки.

Ключевые слова: энергоэффективность, «пассивный» дом, монолитные стены, технологии несъемной опалубки, пенополистирол.

Введение. Жилой фонд зданий в Донбассе с точки зрения энергоиспользования является весьма неэффективным. Проводимая в прошлые годы политика «дешевых» энергоносителей привела к строительству зданий с невысоким уровнем теплозащиты. В настоящее время проблема сбережения энергоресурсов является одной из основных. От результатов ее решения зависит место нашего общества в ряду экономически развитых стран и уровень жизни граждан.

С середины XX века в мире начала разрабатываться концепция «пассивных» зданий, которая основана на применении современных строительных технологий. «Пассивный» дом – это сооружение, которое отличается малым энергопотреблением или отсутствием необходимости отопления – в среднем около 10 % от удельной энергии на единицу объема, потребляемой большинством современных зданий. Под «пассивным» подразумевается такой дом, в котором тепло генерируется «пассивно», т. е. путем накопления и использования только имеющихся внутренних источников тепла, солнечной энергии, попадающей через окна, и путем нагрева свежего воздуха, который поступает через приточную установку вентиляции.

В идеале «пассивный» дом – это независимая энергосистема, вообще не требующая расходов на поддержание комфортной температуры. Отопление «пас-

сивного» дома происходит благодаря теплу, выделяемому живущими в нем людьми, бытовыми приборами и альтернативными источниками энергии. Горячее водоснабжение осуществляется за счет установок возобновляемой энергии. Электрическая энергия вырабатывается солнечными батареями или ветровыми мини-электростанциями.

Одним из путей повышения энергоэффективности зданий является улучшение теплоизоляционных характеристик наружных стен. Наружные стены зданий, как правило, выполняются по традиционной технологии ручной каменной кладки; полносборная технология используется при строительстве крупнопанельных и объемно-блочных зданий; монолитная и сборно-монолитная технологии позволяют возводить одно-, двух- и трехслойные монолитные стены из бетона.

Технология монолитного строительства малоэтажных зданий ранее имела два основных недостатка: необходимость последующего утепления возведенных стен, обусловленная высокой теплопроводностью бетона, и значительная продолжительность строительства, связанная с затратами времени на монтаж и демонтаж опалубки. В настоящее время эти недостатки могут быть устранены применением прогрессивной технологии несъемной опалубки, поэтому возведение стен из мо-

нолитного бетона стало чаще применяться в строительстве.

Цель работы – выявление наиболее эффективных технико-экономических решений экологического строительства «пассивных» зданий и развитие энергоэффективных идей в современном строительстве на основе изучения передовых идей и накопленного опыта.

Изложение материала и его результаты. На современном этапе, в условиях, когда надежные и удобные материалы приходят на смену устаревшим и экономически невыгодным, следует отметить строительство с применением несъемной опалубки из пенополистирола с технологией быстрого возведения монолитных железобетонных стен, не требующих дополнительного утепления. Данная система прошла многолетнюю проверку в странах Западной Европы и США и в последние годы находит широкое распространение в России.

Сфера использования технологии несъемной опалубки очень широка: промышленные и сервисные объекты, индивидуальные коттеджи, сельские дома, дачи, теплые бассейны и др.

Конструкция и тип фундаментов определяются с учетом назначения здания, климатического района строительства, физико-механических характеристик грунта, уровня грунтовых вод и других факторов. Наибольшее распространение получили ленточные фундаменты, имеющие простую и надежную конструкцию.

Несъемная опалубка является формой для монолитных стен будущего здания. Опалубка представляет собой полые пенополистирольные блоки, внутреннее пространство которых предназначено для последующей заливки бетона (рис. 1). Одновременно с монтажом пенополистирольных блоков несъемной опалубки производится армирование будущих монолитных стен металлической арматурой, направляющие для которой заложены в конструкцию пенополистирольных блоков.

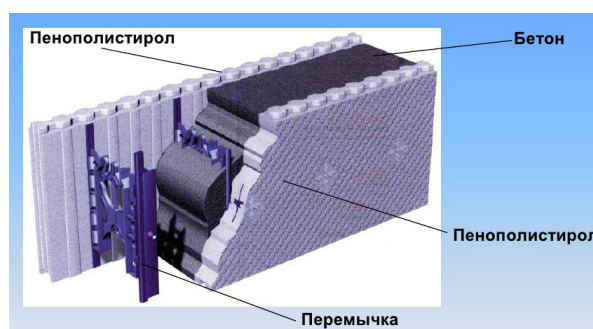


Рисунок 1 – Несъемная опалубка из пенополистирола

После возведения несъемной опалубки стен прокладываются и выводятся наружу коммуникации. По окончании опалубочных работ производится укладка бетонной смеси. При этом толщину стен можно варьировать, меняя расстояние между блоками несъемной опалубки в зависимости от их вида: несущие или самонесущие. В результате бетонирования смесь образует монолит – прочные бетонные стены, с двух сторон окруженные пенополистирольными блоками. Их не снимают, так как, выполнив функцию опалубки, впоследствии они продолжают служить в качестве эффективного термоизоляционного слоя. Отсюда и происходит название – «несъемная опалубка» [1].

Несъемная опалубка из пенополистирола состоит из блоков самой разнообразной формы и размеров, они включают в себя все необходимые элементы: стеновые модули, угловые блоки, торцевые заглушки. Все они могут быть разных типоразмеров, что дает возможность возводить как стандартные типовые дома, так и здания с криволинейными изогнутыми формами. Проекты домов с применением несъемной опалубки поражают своим многообразием и дают простор фантазии даже самого взыскательного архитектора.

Построенный дом из несъемной пенополистирольной опалубки получается сразу теплым и не нуждается в дополнительном утеплении. При этом пенополистирольные стены как изнутри, так и снаружи почти идеально ровные и могут по жела-

нию заказчика отделяться любыми материалами. Изнутри поверхность из пенополистирола прекрасно отделывается гипсокартоном, оштукатуривается, покрывается всеми видами панельных материалов.

Снаружи здания также можно применять самую широкую гамму отделочных материалов: фасадные панели, оштукатуривание полимерными строительными растворами, отделка сайдингом, облицовка кирпичом, плиткой, натуральным или искусственным камнем, деревянной вагонкой.

По структуре пенополистирол напоминает кору пробкового дерева, поскольку состоит из микрогранул. Для такого материала характерны [2]:

- экологическая чистота;
- паропроницаемость;
- химическая нейтральность;
- полное отсутствие радиоактивности;
- устойчивость к влажности;
- непривлекательность для бактерий и гризунов.

Единственным недостатком данного типа опалубки остается возможность одноразового использования, когда блоки из пенополистирола навсегда остаются в бетонной стене зданий.

Следовательно, применение несъемной опалубки из пенополистирола при возведении монолитных наружных стен здания позволяет [1–3]:

1) значительно ускорить процесс возведения стен;

2) уменьшить толщину наружных стен здания в 2,5 раза по сравнению со стандартными кирпичными;

3) сократить затраты на отопление в 3–3,5 раза по сравнению со зданиями, имеющими типовые кирпичные стены;

4) существенно снизить нагрузку на фундаменты, что позволяет использовать новые типы мелкозаглубленных фундаментов с более низкими затратами на их сооружение;

5) вести строительство малоэтажных зданий без применения тяжелой техники: блоки легко доставляются и монтируются вручную с использованием строительных лесов;

6) сочетать несъемную опалубку с традиционными материалами (кирпич, блоки, дерево и др.) и строительными конструкциями практически в любой комбинации, что дает возможность реализовать любые проекты строительства жилых домов;

7) снизить уровень шума в здании на 50 дБ – это абсолютный рекорд среди всех строительных материалов;

8) обеспечить высокую пожаробезопасность здания, т. к. пенополистирол является негорючим самозатухающим материалом: он препятствует распространению огня и не выделяет при горении токсичных химических соединений.

Таким образом, несъемная опалубка из пенополистирола является перспективным, простым и надежным способом возведения монолитных наружных стен здания.

Выводы:

1. Распространение концепции «пассивного» дома в сочетании с приведенной технологией возведения монолитных наружных стен здания с использованием несъемной опалубки из пенополистирола станет качественным шагом вперед на пути энергосбережения и перехода на использование альтернативных источников энергии.

2. Развитие этого направления требует изменения подходов к строительным и инженерным технологиям, что является требованием не только будущего, но уже сегодняшнего дня.

Дальнейшие исследования будут направлены на последующую разработку технологий и применения новых строительных материалов для развития концепции энергоэффективных зданий.

Библиографический список

1. Монолитное строительство с несъемной опалубкой – технология 21 века [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://www.alientechnologies.ru/articles/permanent_formwork/
2. Монолитные дома в несъемной пенополистирольной опалубке [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://xn-30-zedag.xn--p1ai/monolitnyedoma>
3. Строительство домов из несъемной опалубки в Тюмени [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://termodomtyumen.ru/services/vozvedenie-opalubki/>

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. ДонГТУ Долголаптевым В.М.,
и.о. начальника ОКСа Алчевской Администрации Демой В.Н.*

Статья поступила в редакцию 29.04.16.

к.т.н. Усенко В.М., к.т.н. Будзило О.Є., к.т.н. Горова Н.А., ст. викл. Кубишкіна І.А. (Дон-ДТУ, Алчевськ, Україна, ЛНР)

БУДІВНИЦТВО «ПАСИВНИХ» ІНДИВІДУАЛЬНИХ БУДИНКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЗНІМНОЇ ОПАЛУБКИ З ПІНОПОЛІСТИРОЛУ

Проведено аналіз існуючих конструктивно-технологічних рішень будівництва індивідуальних будинків і переваги використання в монолітному будівництві незнімної опалубки.

Ключові слова: енергоефективність, «пасивний» будинок, монолітні стіни, технології незнімної опалубки, пінополістирол.

PhD in Engineering Usenko W.N., PhD in Engineering Budzilo E.E., PhD in Engineering Gorovaia N.A., Senior Lecturer Kubyshkina I.A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

BUILDING OF «PASSIVE» INDIVIDUAL CONSTRUCTIONS USING THE STAY-IN-PLACE FORMWORK MADE OF EXPANDED POLYSTYRENE

Analysis of existing constructive and technological solutions on building individual constructions and advantages of using stay-in-place formwork in monolith construction has been carried out.

Key words: energy efficiency, «passive» building, in situ walls, stay-in-place formwork technologies, expanded polystyrene.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ**

УДК 62-83

к.т.н. Мотченко А.И.,
к.т.н. Столяров В.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С МОДЕЛЬНЫМ ПРОГНОЗИРУЮЩИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Оптимизация траекторий движения электропривода предполагает использование сложных критериев оптимальности, которые должны отображать в своей структуре различные цели управления. В статье описан новый подход в решении задач многокритериальной оптимизации, которые предполагают наличие вектора целей управления. Эти локальные критерии оптимальности должны быть нормализованы и вычислены на прогнозных траекториях движения в рамках алгоритма модельного прогнозирующего управления. Выбор лучшей программы управления на следующий квант времени базируется на поиске управляющей функции, доставляющей минимум сумме нормализованных локальных критериев с учетом коэффициентов приоритета.

Ключевые слова: оптимизация, модельное прогнозирующее управление, асинхронный электродвигатель.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Одним из достоинств метода модельного прогнозирующего управления (МПУ) является возможность конструирования критерия оптимальности без его жесткой привязки к некоторой форме, например, квадратичной. Поскольку значение критерия на некотором будущем интервале времени (горизонте прогноза) вычисляется непосредственно в процессе работы системы, сам критерий может содержать в себе любые нелинейные функции, а также логику переключения в зависимости от значений тех или иных координат системы. Например, при выходе некоторой координаты за область ее допустимых значений, могут быть введены функции штрафа, которые дают существенное нарастание критерия, чтобы дать сигнал алгоритму выбора управляющего воздействия «забраковать» соответствующие программы управления. Поскольку система электропривода имеет, как правило, несколько регулируемых координат, для которых должны быть решены локальные задачи, как оптимального достижения заданных уровней, так и предотвращения их выхода за пределы области допустимых значений, в процессе движения система должна подчиняться каждой из этих, часто противоречивых, целей управления.

Классическим подходом в сочетании целей управления является метод весовых коэффициентов, когда в рамках единого критерия отдельные его части, соответствующие локальным целям управления берутся со своими весовыми коэффициентами. Однако при достаточно большом числе таких целей, выбор весовых коэффициентов оказывается непростой задачей, поскольку даже незначительные изменения этих коэффициентов могут сильно влиять на качество процессов.

Постановка задачи. Облегчить задачу выбора весовых коэффициентов и свести ее к простой расстановке приоритетов целей управления можно путем использования методов многокритериальной (векторной) оптимизации. Целью работы является разработка алгоритма многокритериальной оптимизации системы регулирования скорости асинхронного электропривода, не требующего априорной процедуры выбора весовых коэффициентов.

Изложение материала и его результаты. Ядром системы с МПУ-алгоритмом является прогнозирующая модель (рис. 1). От достоверности и эффективности этой модели зависит качество предсказаний на горизонте прогноза и, соответственно, правильность выбора управляющей функции для

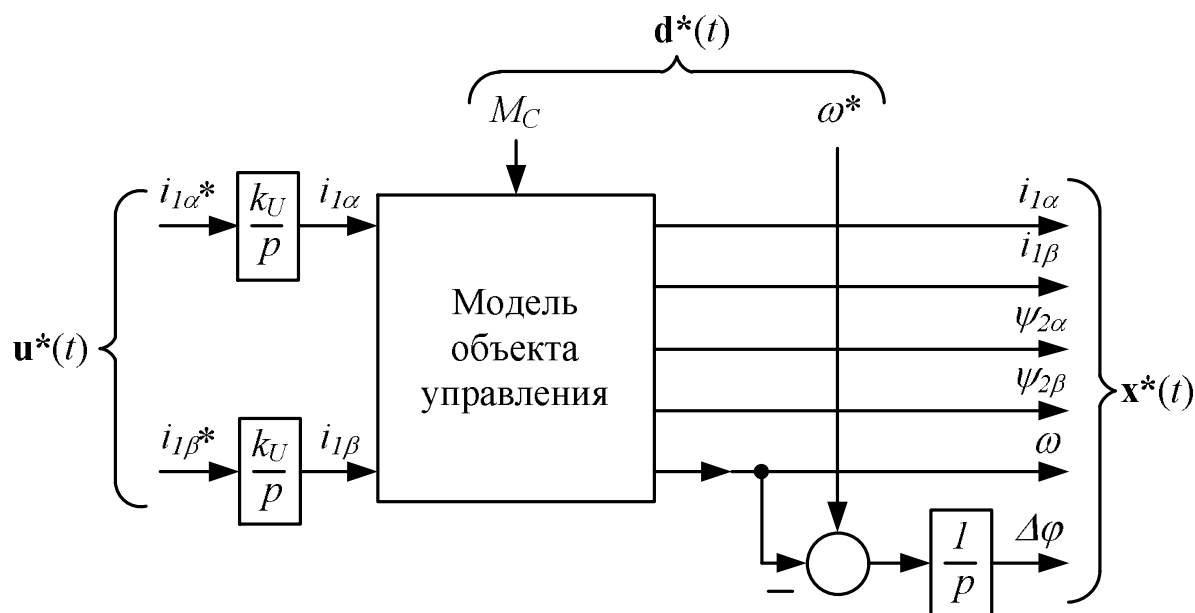


Рисунок 1 – Прогнозирующая модель, адаптированная для релейного управления током статора

будущего такта квантования. Желаемое значение главной управляемой координаты ω^* (скорости вращения двигателя) наряду с возмущающим воздействием M_C включим в состав вектора $\mathbf{d}^*(t)$ и будем называть его вектором внешних воздействий. Значение интеграла от ошибки по скорости физически представляет собой разницу желаемого и фактического углов поворота вала двигателя, поэтому обозначим его $\Delta\varphi$ и введем эту величину в состав вектора состояния объекта $\mathbf{x}^*(t)$. Выход интегратора становится дополнительной переменной состояния объекта и может фигурировать в критерии качества с целью минимизации данной переменной на траекториях движения объекта, что решает задачу обеспечения астатизма по возмущающему воздействию для систем, математическое описание которых дано в пространстве состояний. Применение на входе модели интегрирующих звеньев позволяет, с одной стороны, обеспечить астатизм по задающему воздействию, а с другой стороны, применение интеграторов при формировании управляющей функции позво-

ляет «сузить» множество допустимых управлений на входе интеграторов до двух значений \mathbf{u}_{\min} и \mathbf{u}_{\max} .

Структурная схема прогнозирующей модели приведена на рисунке 2.

Схема алгоритма формирования выходных переменных прогнозирующей модели приведена на рисунке 3.

В векторно-матричной форме математическое описание прогнозирующей модели имеет вид:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}^*(t) &= \mathbf{f}_x^*(\mathbf{x}^*(t)) + \mathbf{B}^* \mathbf{u}^*(t) + \mathbf{H}^* \mathbf{d}^*(t), \\ \mathbf{y}^*(t) &= \mathbf{f}_y^*(\mathbf{x}^*(t))\end{aligned}\quad (1)$$

где $\mathbf{x}^* \in \mathbf{E}^n$ – вектор состояния прогнозирующей модели; $\mathbf{u}^* \in \mathbf{E}^m$ – вектор управлений прогнозирующей модели; $\mathbf{d}^* \in \mathbf{E}^{n_d}$ – вектор внешних воздействий; $\mathbf{y}^* \in \mathbf{E}^{n_y}$ – вектор выходных переменных прогнозирующей модели; $\mathbf{f}_x, \mathbf{f}_y$ – векторные функции (2). Перейдем к дискретной модели прогнозируемого движения, используя разностную схему Эйлера (3).

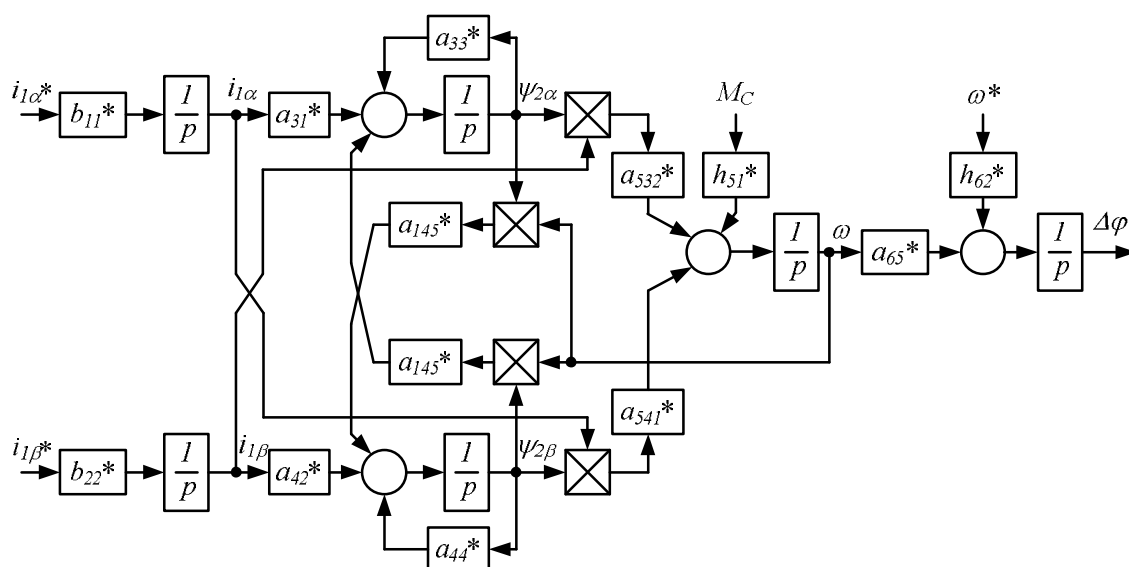


Рисунок 2 – Структурная схема прогнозирующей модели

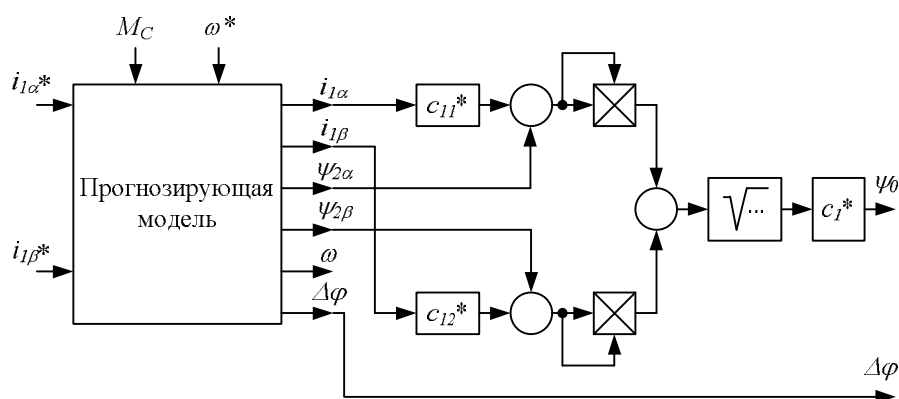


Рисунок 3 – Структурная схема алгоритма формирования выходных переменных прогнозирующей модели

$$\mathbf{x}^*(t) = \begin{bmatrix} i_{1\alpha}(t) \\ i_{1\beta}(t) \\ \psi_{1\alpha}(t) \\ \psi_{1\beta}(t) \\ \omega(t) \\ \Delta\phi(t) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{u}^*(t) = \begin{bmatrix} i_{1\alpha}^*(t) \\ i_{1\beta}^*(t) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{d}^*(t) = \begin{bmatrix} M_C(t) \\ \omega^*(t) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{y}^*(t) = \begin{bmatrix} \psi_0(t) \\ \Delta\phi(t) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B}^* = \begin{bmatrix} b_{11}^* & 0 \\ 0 & b_{22}^* \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{H}^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ h_{51}^* & 0 \\ 0 & h_{62}^* \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$$\mathbf{f}_x^* = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ a_{31}^*x_1^*(t) + a_{33}^*x_3^*(t) + a_{345}^*x_4^*(t)x_5^*(t) \\ a_{42}^*x_2^*(t) + a_{44}^*x_4^*(t) + a_{435}^*x_3^*(t)x_5^*(t) \\ a_{532}^*x_3^*(t)x_2^*(t) + a_{541}^*x_4^*(t)x_1^*(t) \\ a_{65}^*x_5^*(t) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{f}_y^* = \begin{bmatrix} c_1^* \sqrt{(c_{11}^*x_1^*(t) + x_3^*(t))^2 + (c_{12}^*x_2^*(t) + x_4^*(t))^2} \\ x_6^*(t) \end{bmatrix}.$$

$$\begin{aligned}
i_{1\alpha(k+1)} &= \tilde{a}_{11}i_{1\alpha(k)} + \tilde{b}_{11}i_{1\alpha(k)}^* ; \\
i_{1\beta(k+1)} &= \tilde{a}_{22}i_{1\beta(k)} + \tilde{b}_{22}i_{1\beta(k)}^* ; \\
\psi_{2\alpha(k+1)} &= \tilde{a}_{31}i_{1\alpha(k)} + \tilde{a}_{33}\psi_{2\alpha(k)} + \tilde{a}_{345}\omega_{(k)}\psi_{2\beta(k)} ; \\
\psi_{2\beta(k+1)} &= \tilde{a}_{42}i_{1\beta(k)} + \tilde{a}_{44}\psi_{2\beta(k)} + \tilde{a}_{435}\omega_{(k)}\psi_{2\alpha(k)} ; \\
\omega_{(k+1)} &= \tilde{a}_{532}\psi_{2\alpha(k)}i_{1\beta(k)} + \tilde{a}_{541}\psi_{2\beta(k)}i_{1\alpha(k)} + \tilde{a}_{55}\omega_{(k)} + \tilde{h}_{51}M_{C(k)} ; \\
\Delta\varphi_{(k+1)} &= \tilde{a}_{65}\omega_{(k)} + \tilde{a}_{66}\Delta\varphi_{(k)} + \tilde{h}_{62}\omega_{(k)}^* ,
\end{aligned} \tag{3}$$

где $k=0, 1, 2, \dots$ – номер такта, определяющий дискретный момент времени $t = k\tau$; $\tau = t_{k+1} - t_k$ – шаг дискретизации. В векторно-матричной форме:

$$\begin{aligned}
\tilde{\mathbf{x}}_{k+1} &= \tilde{\mathbf{f}}_{\mathbf{x}}(\tilde{\mathbf{x}}_k) + \tilde{\mathbf{B}}\tilde{\mathbf{u}}_k + \tilde{\mathbf{H}}\tilde{\mathbf{d}}_k \\
\tilde{\mathbf{y}}_k &= \tilde{\mathbf{f}}_{\mathbf{y}}(\tilde{\mathbf{x}}_k)
\end{aligned} \tag{4}$$

Пусть прогнозирующая модель (4) на начальном такте $k=0$ инициализируется состоянием $\mathbf{x}(t_n)$ реального объекта

$$\tilde{\mathbf{x}}_0 = \mathbf{x}(t_n), \quad \tilde{\mathbf{y}}_0 = \tilde{\mathbf{f}}_{\mathbf{y}}(\tilde{\mathbf{x}}_0),$$

где

$\mathbf{x}(t_n) = [i_{1\alpha}(t_n) \ i_{1\beta}(t_n) \ \psi_{1\alpha}(t_n) \ \psi_{1\beta}(t_n) \ \omega(t_n) \ \Delta\varphi(t_n)]^T$ – вектор состояния объекта управления, измеренный или оцененный при помощи наблюдателя на момент начала прогноза t_n . Тогда можно говорить, что множество векторов $\{\tilde{\mathbf{x}}_k\} (k=1, 2, \dots, P)$ и $\{\tilde{\mathbf{y}}_k\} (k=1, 2, \dots, P)$ представляет собой прогноз движения реального объекта в дискретном времени с горизонтом прогноза P (рис. 4).

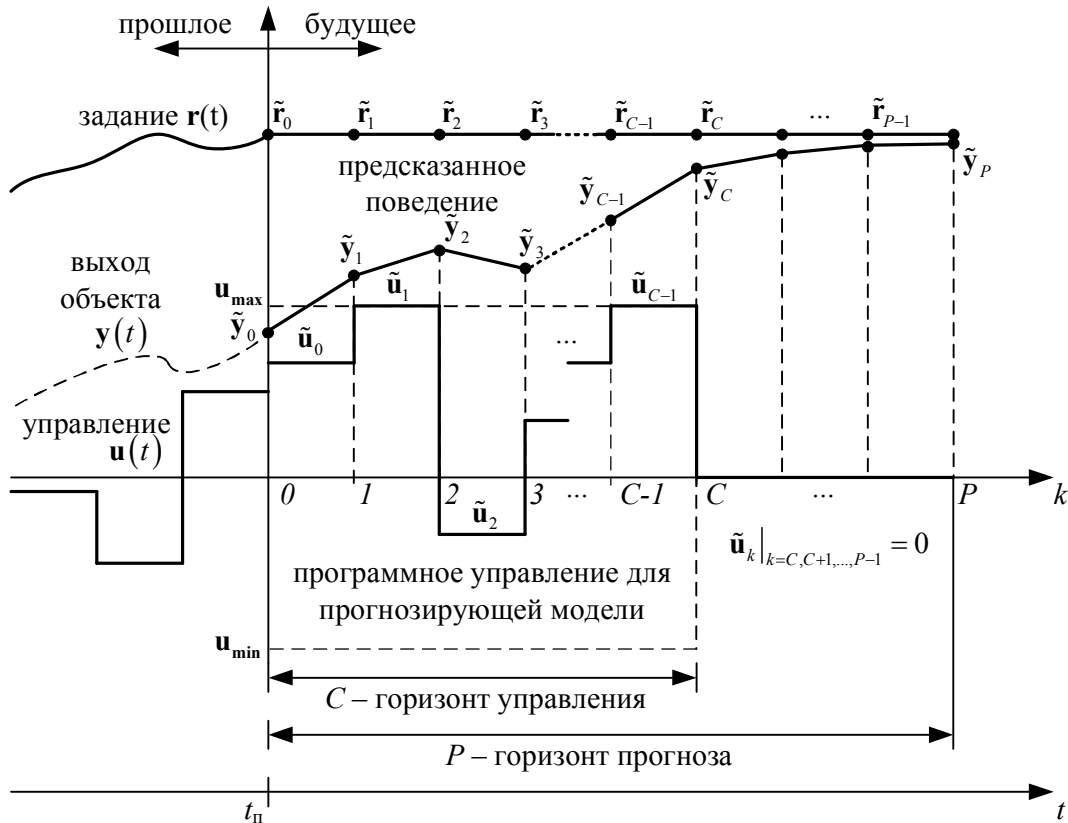


Рисунок 4 – Схема осуществления прогноза с дискретной моделью

Траектория задания $\mathbf{r}(t)$ определяет желаемые значения выходных координат объекта. Если в процессе функционирования системы траектория задания наперед неизвестна, то вектор заданных значений выходных координат модели $\tilde{\mathbf{r}}_k = \mathbf{r}(t_k) = \text{const}$. Если в системе присутствует информация о будущих значениях вектора $\mathbf{r}(t)$ в дискретные моменты времени на интервале прогноза, то вектор $\tilde{\mathbf{r}}_k$ следует соответствующим образом определять для каждого интервала $k = 0, 1 \dots P-1$.

Программное управление $\{\tilde{\mathbf{u}}_k\} (k = 0, 1 \dots C-1)$, синтезируемое на горизонте управления C , в конце горизонта управления принудительно обнуляется $\tilde{\mathbf{u}}_k|_{k \geq C} = 0$ и остается равным нулю до конца горизонта прогноза. Такой подход известен, что следует, например, из [1], и позволяет на оставшейся части горизонта прогноза $k = C+1 \dots P$ эффективно учитывать свободное движение системы, траектория которого зависит от управляющих воздействий, поданных на модель на горизонте управления.

Сущность МПУ состоит в определении для прогнозирующей модели наилучшей последовательности (программы) управлений, первый элемент которой следует считать оптимальным управлением для момента времени t_p . Количество возможных программ управления $N_{\text{прог}}$ определяет вычислительные затраты на реализацию МПУ-алгоритма и составляет $N_{\text{прог}} = s^{mC}$, где m – размерность вектора управлений m (все возможные сочетания компонентов вектора $\tilde{\mathbf{u}}$, которые должны быть испытаны на интервале прогноза), s – количество элементов множества допустимых управлений U (определяет число возможных значений каждого их компонентов вектора $\tilde{\mathbf{u}}$). В контексте решаемой задачи управления асинхронным двигателем значение s принято одинаковым для каждого из управляющих воздействий модели.

Поскольку численное решение системы (4) должно быть выполнено $N_{\text{прог}}$ раз, значения s и C должны быть выбраны минимально возможными. Число управлений в

прогнозирующей модели составляет $m=2$. Как было обосновано выше, множество допустимых управлений представляется возможным ограничить лишь двумя значениями \mathbf{u}_{\min} и \mathbf{u}_{\max} , которые составляют

$$\mathbf{u}_{\min} = \begin{bmatrix} -i_{1m} \\ -i_{1m} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u}_{\max} = \begin{bmatrix} i_{1m} \\ i_{1m} \end{bmatrix},$$

или иначе

$$i_{1\alpha}^* = \{-i_{1m}; i_{1m}\}, \quad i_{1\beta}^* = \{-i_{1m}; i_{1m}\},$$

где i_{1m} – максимальный ток статора. Следовательно, $s=2$.

Качество управления прогнозирующей моделью будем оценивать с помощью квадратичного функционала

$$J_l = \sum_{k=1}^P \left[(\tilde{\mathbf{y}}_k - \tilde{\mathbf{r}}_k)^T \mathbf{R} (\tilde{\mathbf{y}}_k - \tilde{\mathbf{r}}_k) + \tilde{\mathbf{u}}_{k-1}^T \mathbf{Q} \tilde{\mathbf{u}}_{k-1} + \tilde{\mathbf{G}}_k^T \mathbf{F} \tilde{\mathbf{G}}_k \right], \quad l = 1, 2, \dots, N_{\text{прог}} \quad (5)$$

где \mathbf{R} , \mathbf{Q} , \mathbf{F} – диагональные матрицы весовых коэффициентов

$$\mathbf{R} = \text{diag}(r_1, r_2, \dots, r_{N_y}); \quad \mathbf{Q} = \text{diag}(q_1, q_2, \dots, q_m);$$

$$\mathbf{F} = \text{diag}(f_1, f_2, \dots, f_n)$$

$$\tilde{\mathbf{G}}_k = \begin{bmatrix} \tilde{g}_{1(k)} \\ \tilde{g}_{2(k)} \\ \vdots \\ \tilde{g}_{n(k)} \end{bmatrix} \quad - \text{вектор функций штрафа,}$$

которые вводятся в функционал для учета ограничений на переменные состояния;

l – номер программы управления, для которой выполняется прогноз.

Функция штрафа определена для каждой из переменных состояния и задается в виде

$$\tilde{g}_i = \begin{cases} 0, & x_{i,\min} \leq x_i \leq x_{i,\max} \\ x_i - x_{i,\max}, & x_i > x_{i,\max} \\ x_{i,\min} - x_i, & x_i < x_{i,\min} \end{cases}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

где $x_{i,\min}$, $x_{i,\max}$ – элементы векторов ограничений \mathbf{x}_{\min} , \mathbf{x}_{\max} . Отсутствие ограничений на величину j -го компонента вектора состояния означает, что $x_{j,\min} = x_{j,\max} = \infty$. Таким образом, функция штрафа равна нулю внутри множества \mathbf{X} , (эксплуатационная область) и нарастает при выходе за пределы этой области.

Функционал (5) задан в скалярной форме, а это означает, что весовые коэффици-

енты, входящие в матрицы \mathbf{R} , \mathbf{Q} , \mathbf{F} должны учитывать значимость каждой из составляющих функционала. Например, если приоритетным для системы является соблюдение ограничений, в ущерб остальным показателям, то весовые коэффициенты матрицы \mathbf{F} должны быть выбраны такими, что вклад функций штрафа в структуре функционала на порядок и более превышает вклады остальных составляющих.

В общем случае процедура выбора весовых коэффициентов должна учитывать опыт создания предшествующих систем аналогичного или сходного назначения, опыт и интуицию конструкторов управляемого объекта. Уточнение этих параметров, а иногда и структуры функционала, как правило, производится на стадии проектирования конструктором в итерационном режиме [2].

Сложность процедуры выбора весовых коэффициентов критерия качества во многом определяется противоречивостью целей управления и различной природой управляемых величин.

В контексте рассматриваемой задачи управления асинхронным двигателем можно выделить следующие цели управления:

1) стабилизация потокосцепления на заданном уровне ψ_0^* ($r_1 > 0$);

2) минимизация интегральной скоростной ошибки $\Delta\varphi = 0$ ($r_2 > 0$);

3) ограничение тока статора на уровне не более $i_{1.\max}$, что можно представить как ограничение каждой из составляющих $i_{1\alpha}$ и $i_{1\beta}$ в отдельности, т.е. $|i_{1\alpha}| \leq i_{1.\max}$ ($f_1 > 0$);

4) $|i_{1\beta}| \leq i_{1.\max}$ ($f_2 = f_1 > 0$).

Каждая из этих целей представлена в скалярном функционале (5). Остальные весовые коэффициенты функционала принимаются равными нулю.

Введем в рассмотрение векторный критерий

$$\mathbf{J}_l = [j_{1(l)} \quad j_{2(l)} \quad \dots \quad j_{N_{\text{пр}}(l)}]^T, \quad l = 1, 2, \dots, N_{\text{пр}},$$

где j_i , ($i=1, 2, \dots, N_{\text{пр}}$) – компонент векторного критерия, соответствующий некоторой j -й

цели управления, $N_{\text{пр}}$ – количество целей управления. В контексте решаемой задачи (индекс программы управления l опускаем)

$$j_1 = \sum_{k=1}^P (\psi_{0(k)} - \psi_0^*)^2;$$

$$j_2 = \sum_{k=1}^P \Delta\varphi_{(k)}^2;$$

$$j_3 = \sum_{k=1}^P \tilde{g}_{1(k)}^2;$$

$$j_4 = \sum_{k=1}^P \tilde{g}_{2(k)}^2,$$

где функции штрафа $\tilde{g}_{1(k)}$, $\tilde{g}_{2(k)}$ определяются следующим образом:

$$\tilde{g}_{1(k)} = \begin{cases} 0, & -i_{1.\max} \leq i_{1\alpha(k)} \leq i_{1.\max} \\ i_{1\alpha(k)} - i_{1.\max}, & i_{1\alpha(k)} > i_{1.\max} \\ -i_{1.\max} - i_{1\alpha(k)}, & i_{1\alpha(k)} < -i_{1.\max} \end{cases};$$

$$\tilde{g}_{2(k)} = \begin{cases} 0, & -i_{1.\max} \leq i_{1\beta(k)} \leq i_{1.\max} \\ i_{1\beta(k)} - i_{1.\max}, & i_{1\beta(k)} > i_{1.\max} \\ -i_{1.\max} - i_{1\beta(k)}, & i_{1\beta(k)} < -i_{1.\max} \end{cases}.$$

Критерии j_i , ($i=1, 2, \dots, N_{\text{пр}}$) являются частными (локальными), т. к. каждый из них характеризует некоторую локальную цель управления. Задача векторной оптимизации состоит в выборе оптимальной программы управления $l_{\text{онм}}$ при которой все частные критерии, представленные в векторном критерии $\mathbf{J}_{\text{онм}}$, принимают по возможности минимальное значение. Очевидно, что оптимальное решение может принадлежать только области компромиссов, и для выбора единственной оптимальной программы $l_{\text{онм}}$ необходимо выбрать схему компромисса.

Основными схемами компромисса являются:

– принцип равномерности – провозглашает целесообразность выбора такого варианта решения, при котором достигалась бы некоторая «равномерность» показателей по всем локальным критериям. Не может быть рекомендован, т. к. иногда даже небольшое отклонение от равномерности может дать значительный прирост одному из критериев;

– принцип справедливой уступки – основан на сопоставлении и оценке прироста и убыли величины локальных критериев. Переход от одного варианта к другому, если они оба принадлежат области компромиссов, неизбежно связан с улучшением по одним критериям и ухудшением по другим. Сопоставление и оценка изменения значения локальных критериев может производиться по абсолютному значению прироста и убыли критериев (принцип абсолютной уступки) либо по относительному (принцип относительной уступки);

– принцип выделения одного оптимизируемого критерия – один из критериев является оптимизируемым, и выбирают тот вариант, при котором достигается минимум этого критерия. На другие критерии накладываются ограничения. Не может быть рекомендован для решаемой задачи, т. к. все локальные критерии имеют примерно одинаковую важность при незначительном приоритете критериев j_3, j_4 , которые обеспечивают соблюдение ограничений;

– принцип последовательной уступки (метод лексикографии) – осуществляется поиск не единственного точного оптимума, а некоторой области решений, близких к оптимальному – квазиоптимального множества. Способ построения компромиссного решения хорош тем, что здесь отчетливо видно, ценой какой «уступки» в одном критерии приобретается выигрыш в другом. Свобода выбора решения, приобретаемая ценой даже незначительных «уступок», может оказаться существенной, так как в районе оптимума обычно эффективность решения меняется очень слабо. Метод целесообразно применять для решения тех многокритериальных задач, в которых все частные критерии естественным образом упорядочены по степени важности, причем каждый критерий настолько существенно более важен, чем последующий, что можно ограничиться учетом только попарной связи критериев и выбирать допустимое снижение очередного критерия с учетом поведения лишь одного следующего критерия.

Таким образом, для решаемой задачи наиболее подходящим является принцип справедливой уступки. Поскольку принцип относительной уступки весьма чувствителен к величине критериев, выбираем принцип абсолютной уступки, при котором целесообразным считается такой вариант программы управления, для которого абсолютное значение суммы повышения одного или нескольких критериев не превосходит абсолютное значение суммы снижения оставшихся критериев. Принципу абсолютной уступки соответствует модель минимизации суммы критериев:

$$J_{\text{онм}} = \min_{l=1 \dots N_{\text{прог}}} \sum_{i=1}^{N_u} p_i j_{i(l)},$$

где p_i – коэффициенты приоритета, являющиеся компонентами весового вектора приоритетов

$$\mathbf{P} = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_{N_u}],$$

и связанные соотношением

$$\sum_{i=1}^{N_u} p_i = 1,$$

которое в случае равенства приоритетов следует заменить на выражение

$$p_i = \frac{1}{N_u}, \quad i = 1, 2, \dots, N_u.$$

Принцип абсолютной уступки допускает резкую дифференциацию уровней частных критериев, поэтому важным требованием перед использованием данного принципа является предварительная нормализация локальных критериев, т. е. преобразование частных критериев, выражаемых в общем случае в различных единицах, к безразмерному виду.

Составим критериальную матрицу \mathbf{J} , полученную по результатам численного интегрирования $N_{\text{прог}}$ программ управления:

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} j_{1(1)} & j_{1(2)} & \dots & j_{1(l)} & \dots & j_{1(N_{\text{прог}})} \\ j_{2(1)} & j_{2(2)} & \dots & j_{2(l)} & \dots & j_{2(N_{\text{прог}})} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ j_{i(1)} & j_{i(2)} & \dots & j_{i(l)} & \dots & j_{i(N_{\text{прог}})} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ j_{N_u(1)} & j_{N_u(2)} & \dots & j_{N_u(l)} & \dots & j_{N_u(N_{\text{прог}})} \end{bmatrix}.$$

Поскольку все частные критерии являются минорируемыми, для их нормализации используем следующее соотношение

$$\bar{J}_{i(l)} = \frac{J_{i(l)} - J_{i,\min}}{J_{i,\max} - J_{i,\min}},$$

где $J_{i,\min} = \min_{l=1 \dots N_{\text{прог}}} J_{i(l)}$, $J_{i,\max} = \max_{l=1 \dots N_{\text{прог}}} J_{i(l)}$ – минимальное и максимальное значения i -го критерия.

В результате получаем нормализованную матрицу

$$\bar{\mathbf{J}} = \begin{bmatrix} \bar{J}_{1(1)} & \bar{J}_{1(2)} & \dots & \bar{J}_{1(l)} & \dots & \bar{J}_{1(N_{\text{прог}})} \\ \bar{J}_{2(1)} & \bar{J}_{2(2)} & \dots & \bar{J}_{2(l)} & \dots & \bar{J}_{2(N_{\text{прог}})} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{J}_{i(1)} & \bar{J}_{i(2)} & \dots & \bar{J}_{i(l)} & \dots & \bar{J}_{i(N_{\text{прог}})} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{J}_{N_{\text{и}}(1)} & \bar{J}_{N_{\text{и}}(2)} & \dots & \bar{J}_{N_{\text{и}}(l)} & \dots & \bar{J}_{N_{\text{и}}(N_{\text{прог}})} \end{bmatrix},$$

$$\bar{J}_{i(l)} \in [0, 1],$$

а вместо (6) используем модель оптимизации вида

$$\bar{J}_{\text{онм}} = \min_{l=1 \dots N_{\text{прог}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{и}}} p_i \bar{J}_{i(l)},$$

выходным значением которой является номер оптимальной программы управления, доставляющей минимум сумме нормализованных значений всех локальных критериев:

$$l_{\text{онм}} = \arg \min_{l=1 \dots N_{\text{прог}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{и}}} p_i \bar{J}_{i(l)}.$$

Библиографический список

1. Morari M. and J. H. Lee "Model Predictive Control: Past, Present and Future," *Computers and Chemical Engineering*, 23, 667-682 (1999).
2. *Справочник по теории автоматического управления* / Под ред. А. А. Красовского. — М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. — 712 с.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. ДонГТУ Самчелевым Ю.П.,
Главным энергетиком ПАО «АМК» Диковичем Ю.А.

Статья поступила в редакцию 19.05.16.

к.т.н. Мотченко О.І., к.т.н. Столяров В.М. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ІЗ МОДЕЛЬНИМ ПРОГНОЗУЮЧИМ КЕРУВАННЯМ

Розроблено новий підхід до рішення задач пошуку кращого алгоритму керування за умов наявності вектору критеріїв управління. Локальні критерії оптимальності нормалізуються та обраховуються на прогнозних траєкторіях руху в межах алгоритму прогнозного керування, що максимізує суму нормалізованих критеріїв.

Выводы и направление дальнейших исследований. Получен алгоритм многокритериальной оптимизации, свободный от априорной процедуры выбора весовых коэффициентов и заключающийся в простом задании коэффициентов приоритета p_i . Расстановка приоритетов более проста и очевидна. Достижение главной цели управления (вывод скорости на заданный уровень) может входить в конфликт с задачей ограничения тока, и если эти две цели будут иметь равный приоритет, то возможно некоторое нарушение «полки» тока «в угоду» требованию роста скорости. Поэтому приоритет компонента критерия, отвечающего за ограничение тока можно взять несколько выше. Тем самым можно дать понять системе, что главная задача выхода на заданную скорость не должна решаться «в ущерб» накладываемым на координаты объекта управления ограничениям. Как показывают исследования, даже при равенстве приоритетов разработанный алгоритм дает отличный результат благодаря нормализации локальных критериев, и расстановку приоритетов следует рассматривать лишь как дополнительное воздействие, которое может внести проектировщик для «тонкой» настройки системы.

Ключові слова: оптимізація, модельне прогнозує управління, асинхронний електродвигун.

PhD Motchenko A.I., PhD Stoliarov V.N. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH THE MODEL PREDICTION CONTROL

A new approach has been found to solve the problems of searching for the best control algorithm for the existing vector control criteria. Local optimality criteria are normalized and calculated on the forecast movement trajectories within the predictive control algorithm that maximizes the amount of normalized criteria.

Key words: optimization, model predictive control, asynchronous motor.

УДК 681.5:82.83

к.т.н. Карпук И.А.,
к.т.н. Щелоков А.Г.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

АСИНХРОННЫЙ ВЕНТИЛЬНЫЙ КАСКАД, УПРАВЛЯЕМЫЙ ПО РОТОРУ, С ПОВЫШЕННЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Разработан регулируемый электропривод с использованием источника тока в роторной цепи асинхронной машины с фазным ротором. Приведены результаты цифрового и физического моделирования.

Ключевые слова: асинхронно-вентильный каскад, асинхронная машина, источник тока, коэффициент мощности, релейная система управления.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Регулируемые электроприводы (ЭП) завоевывают области применения нерегулируемых как для обеспечения технологических характеристик, так и с целью энергосбережения. При этом предпочтение отдается асинхронным ЭП, поскольку асинхронные машины (АМ) имеют лучшие массогабаритные показатели, более высокую надежность и срок службы, проще в обслуживании и ремонте.

Разработанные частотно-регулируемые ЭП, решая большинство технологических задач с приемлемым качеством, уступают по надежности ЭП на базе АМ с фазным ротором (ФР). Последние, имея практически постоянный по величине магнитный поток, могут обеспечивать высокие регулировочные, динамические и энергетические показатели как ЭП постоянного тока с машинами независимого возбуждения.

В настоящее время целый ряд механизмов (подъема и передвижения в кранах, рольганги различного назначения, штабелеры, манипуляторы и др.) оборудованы такого рода ЭП. Обеспечивая высокую надежность работы и хорошую динамику, они зачастую имеют или малый диапазон регулирования скорости, или низкие энергетические показатели, или очень чувствительны к различного рода возмущениям.

Постановка задачи. Учитывая вышесказанное, задача разработки ЭП на базе АМ с ФР с высокими энергетическими и

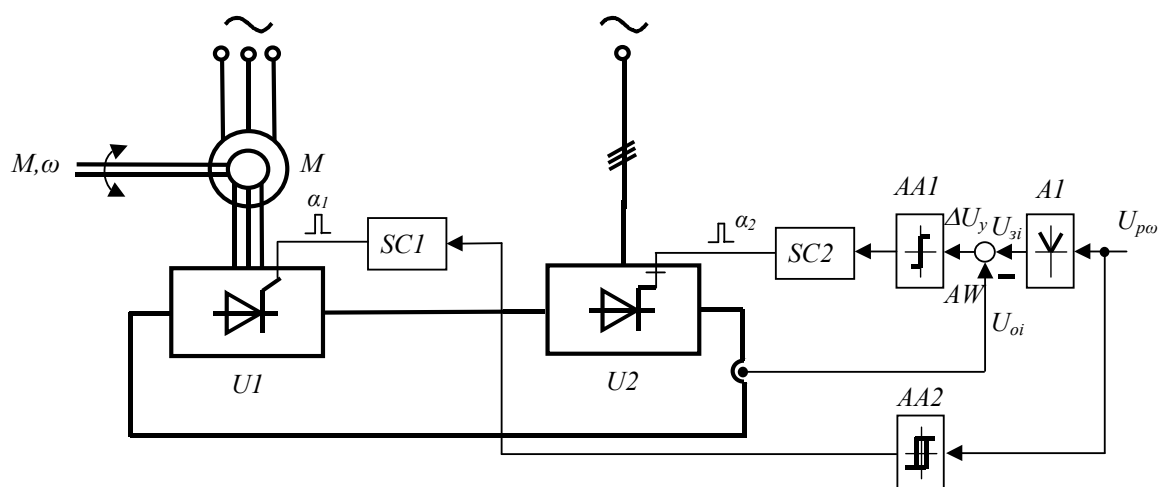
динамическими показателями АМ, который обеспечивает малую чувствительность к параметрическим и координатным возмущениям, является весьма актуальной, поскольку предполагает высокий экономический эффект.

Изложение материала и его результаты. Авторами предложено использовать систему ЭП на базе асинхронного вентильного каскада (АВК), проведен анализ и сравнение нескольких вариантов построения асинхронного ЭП на базе АВК, [1].

Недостатком большинства вариантов построения ЭП с источниками напряжения (ИН) является необходимость согласования выходного напряжения ИН с рабочими напряжениями роторной цепи АМ с помощью трансформатора. Источники тока лишены этого недостатка, поскольку автоматически подстраиваются своими выходными напряжениями к изменениям напряжений АМ.

Поэтому авторами предложен вариант построения системы ЭП, особенностью которого является использование в качестве сетевого преобразователя (СП) регулируемого источника тока (РИТ), построенного на полностью управляемых вентилях (GTO, T3 и др.) (рис. 1) [1, 2, 3].

Отличительной особенностью СП U2 в данной системе является с одной стороны полная управляемость, а с другой – работа в режиме источника тока с использованием релейного принципа управления, – преобразователь работает как РИТ.



Это обеспечивает практически предельное быстродействие в регулировании выпрямленного тока ротора, т.е. момента и скорости, а также малую чувствительность контура тока к параметрическим возмущениям, возникающим в этом контуре, т.е. стабильность регулировочных характеристик РИТ.

Роторный преобразователь (РП) U1 для обеспечения реверса АМ по ротору также построен на управляемых вентилях.

Получены аналитические зависимости для ЭМХ и МХ ЭП на базе АВК с управляемым РП при использовании СП с фазовым управлением и РИТ как в разомкнутой, так и в замкнутой системе ЭП [6].

$$M = \tilde{N} \hat{O} I_p \cos \phi_p, \quad (1)$$

Поскольку при использовании РИТ в качестве СП кривые роторных токов центрированы относительно кривых э.д.с., то $\cos \varphi_p$ стремится к единице, и после дополнительных преобразований уравнение механической характеристики системы ЭП на базе АВК с РИТ в разомкнутом состоянии выглядит так (о.е.):

$$\dot{M}_p = \frac{\dot{E}_1}{\dot{E}_{1i}} \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_1}{\dot{E}_{1i}} \frac{I_{d\dot{e}}}{k_{\ddot{n}i}}, \quad (2)$$

I_{dy} – выпрямленный ток РИТ.

Авторами проведен анализ и сравнение энергетических показателей существующих и предложенной систем каскадного ЭП [7]. Наиболее простым и достаточно точным методом определения к.п.д. вентильного каскада является метод определения потерь [8]. Сущность этого метода состоит в определении потерь в элементах

привода и подсчете полных потерь в приводе ΔP .

Для двигательного режима:

$$\eta_e = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{н}} + \Delta P}, \quad (3)$$

где $P_{\text{н}}$ – полезная мощность на валу АМ;

Постоянные потери асинхронного двигателя находятся из равенства:

$$\Delta P_{\text{ин}} = P_{\text{н}} \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} - \dot{I}_j \omega_{01} s_j \left(1 + \frac{r_1}{r_2'} \right), \quad (4)$$

где $P_{\text{н}}$ – номинальная мощность АМ, Вт;

$\eta_{\text{н}}$ – номинальный к.п.д. АМ;

$M_{\text{н}}$ – номинальный момент АМ, Н · м;

$s_{\text{н}}$ – номинальное скольжение АМ;

r_1 – сопротивление статора, Ом;

r_2' – сопротивление ротора, приведенное к статору.

Переменные потери определяем, приводя все потери к роторной цепи АМ:

$$\Delta P_{\text{ин}} = I_d^2 R_d + I_d \Delta U. \quad (5)$$

Полученные аналитические зависимости представлены в графической форме на рисунке 2 (квадратные маркеры показывают экспериментальные данные).

Анализируя полученные зависимости, отметим, что значения к.п.д. традиционного и предложенного вариантов построения системы ЭП коррелируются со значениями, приведенными в литературе, а также что к.п.д. системы ЭП на базе АВК с РИТ на несколько процентов (2–5%) выше, чем традиционной.

Для расчета коэффициента мощности системы ЭП на базе АВК с РИТ получено следующее выражение:

$$\text{coefm} = \nu \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{I_0^2}{M}}}, \quad (6)$$

где $\nu = 0.995$ – коэффициент, учитывающий искажение формы кривых первичных токов двигателя и трансформатора;

I_0 – намагничивающий ток.

Отметим, что коэффициент мощности системы ЭП на базе АВК с РИТ не зависит от скорости ЭП.

Авторами проведен синтез релейных систем управления (РСУ) для различных систем ЭП на базе АВК как при абсолютно жестких кинематических связях, так и при учете упруго-вязких свойств кинематических связей, осуществлен синтез наблюдателя состояния [9].

Для обеспечения необходимой динамики, квазиинвариантности к параметрическим и возмущающим воздействиям авторами были синтезированы РСУ с помощью двух методов структурно-алгоритмического синтеза РСУ – аналитического конструирования регуляторов (АКР) и обратной задачи динамики (ОЗД).

Результаты цифрового моделирования системы ЭП на базе АВК с РИТ приведены на рисунке 3.

Для подтверждения адекватности полученных ранее результатов цифрового моделирования реальным физическим процессам была создана лабораторная установка и проведены экспериментальные исследования [10].

Заданием эксперимента было создание реверсивного ЭП переменного тока на базе АВК, управляемого исключительно по ротору.

Экспериментальная установка состояла из АМ с ФР, управляемого РП, сетевого вентильного преобразователя в виде РИТ, блока обработки информации на основе аналого-цифрового преобразователя и РС-компьютера с необходимым программным обеспечением. Результаты экспериментальных исследований (кривые скорости и выпрямленного тока системы ЭП) приведены на рисунке 4.

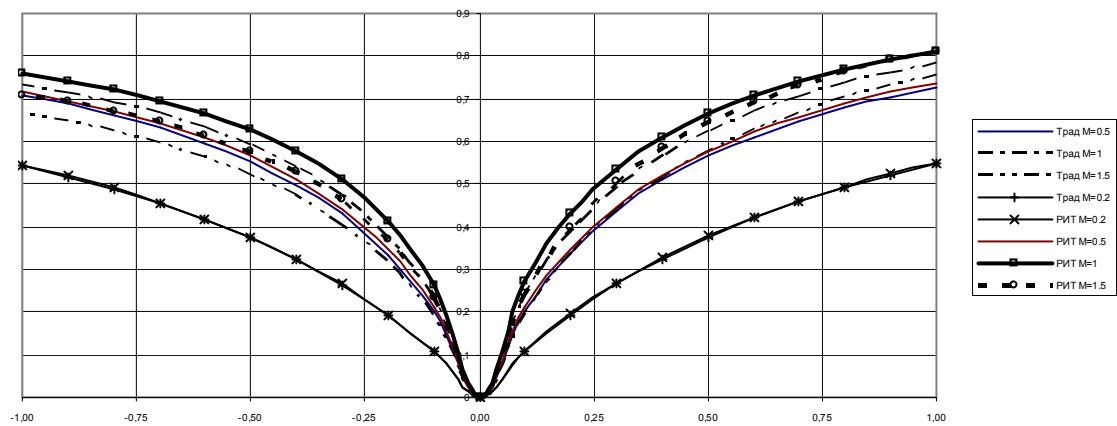


Рисунок 2 – Сравнение зависимостей к.п.д. от скорости каскадного ЭП при традиционной схеме включения и использовании РИТ

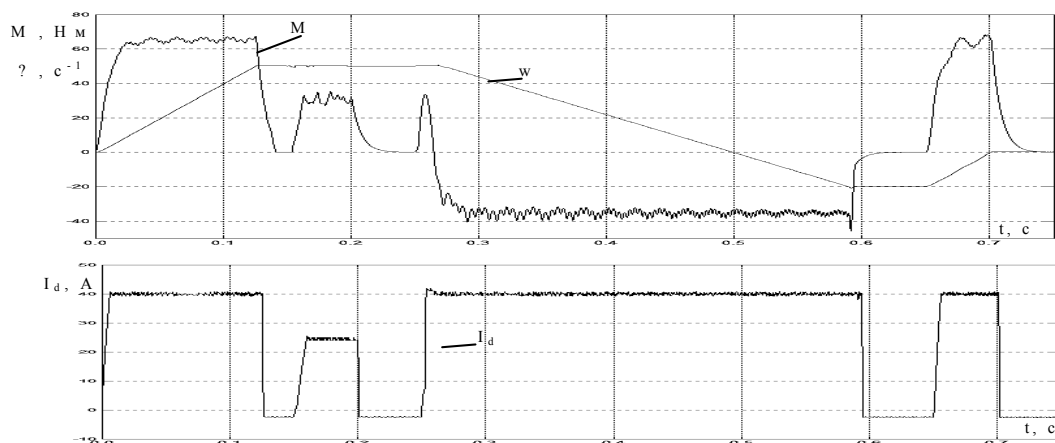


Рисунок 3 – Осциллограммы переходных процессов с использованием РСУ

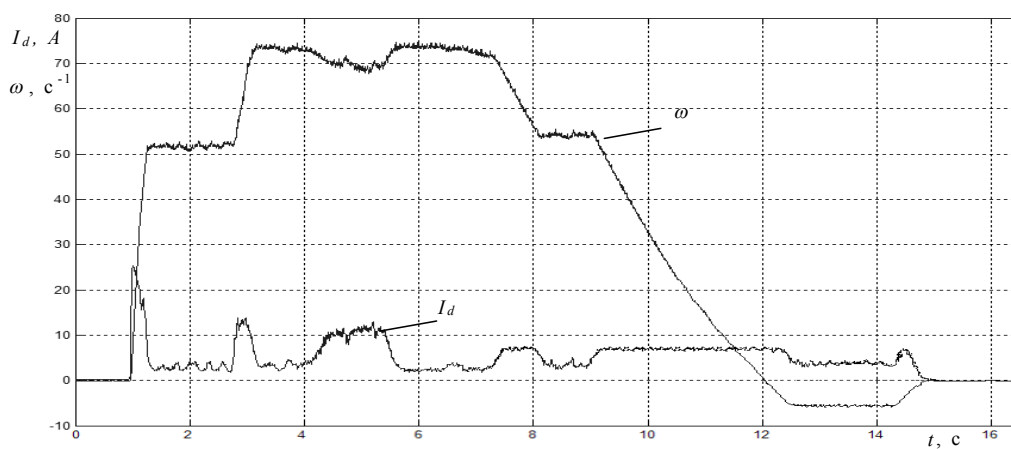


Рисунок 4 – Результаты экспериментальных исследований системы ЭП на базе АВК

Выводы и направление дальнейших исследований. Разработанный асинхронный ЭП позволяет получить высокие энергетические (коэффициенты мощности сетевого и роторного преобразователя могут достигать единицы, привод электромагнитно совместим с питающей сетью) и динамиче-

ческие показатели (предельное быстродействие контура тока благодаря РИТ). Рекомендации по их выбору, технические решения могут быть использованы при проектировании электроприводов переменного тока с малой чувствительностью к параметрическим и координатным возмущениям.

Бibliографический список

1. Пат. 63254 А. МКІ 7 H02P7/62. Электропривід змінного струму / Ю. П. Самчелєєв, І. С. Шевченко, Ю. В. Скурятін, І. А. Карпук. — № 2003032298; заявл. 17.03.2003; опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1.
2. Шевченко І. С. Асинхронний вентильний каскад на базі регульованого джерела струму / І. С. Шевченко, І. А. Карпук, Ю. П. Самчелєєв, Ю. В. Скурятін // Збірник наукових праць Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Технічні науки. — Луганськ, 2004. — С. 143–149.
3. Пат. № 73605. МКІ 7 H02P7/62. Электропривід змінного струму / І. С. Шевченко, Ю. П. Самчелєєв, Ю. В. Скурятін, І. А. Карпук. — № 2003032539; заявл. 25.03.2003; опубл. 15.08.2005, Бюл. № 8.
4. Карпук І. А. Широкорегульований асинхронний електропривод, електромагнітно сумісний з живильною мережею / І. А. Карпук, Д. І. Морозов, І. С. Шевченко, Ю. П. Самчелєєв // Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія та практика. — Харків : НТУ «ХПІ», 2005.
5. Карпук І. А. Асинхронний вентильний каскад з синусоїдальними роторними токами і високим коефіцієнтом потужності / І. А. Карпук, Д. І. Морозов, Ю. В. Скурятін, І. С. Шевченко, Ю. П. Самчелєєв // Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія та практика. — Харків : НТУ «ХПІ», 2003. — № 10. — Т. 2. — С. 401–405.
6. Зеленов А. Б. Асинхронний електропривод на базі машини подвійного живлення / А. Б. Зеленов, І. С. Шевченко, І. А. Карпук // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси і системи. — 2000. — № 1(6). — С. 57–64.
7. Карпук І. А. Оцінка енергетичних показників електропривода на базі АВК з регульованим джерелом струму в роторній ланці / І. А. Карпук, І. С. Шевченко, Ю. П. Самчелєєв // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету : Наукові праці КДПУ. — Кременчук : КДПУ, 2006. — Вип. 4/2006 (39); Частина 1. — С. 79 – 81.
8. Онищенко Г. Б. Асинхронний вентильний каскад / Г. Б. Онищенко. — М. : Энергия, 1967. — 150 с.
9. Карпук І. А. Синтез системи управління регульованого асинхронного ЕП з джерелом струму в роторній ланці / І. А. Карпук, І. С. Шевченко // Збірник наукових праць «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія та практика». — Харків : НТУ «ХПІ», 2005. — № 45.
10. Карпук І. А. Експериментальні дослідження реверсивного асинхронного електропривода, управляемого по ротору / І. А. Карпук, І. С. Шевченко // Електромашинобудування та електрообладнання. — Київ : «Техніка», 2006. — № 66. — С. 54–55.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. ДонГТУ Комаревцевой Л.Н.,
Главным энергетиком ПАО «АМК» Диковичем Ю.А.*

Статья поступила в редакцию 23.05.16.

**к.т.н. Карпук І.А., к.т.н. Щолоков А.Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)
АСИНХРОННИЙ ВЕНТИЛЬНИЙ КАСКАД, КЕРОВАНІЙ ПО РОТОРУ, З
ПІДВИЩЕНИМИ ДИНАМІЧНИМИ І ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ**

Розроблено регульований електропривод з використанням джерела струму в роторному ланцюзі асинхронної машини з фазним ротором. Наведено результати цифрового і фізичного моделювання.

Ключові слова: асинхронно-вентильний каскад, асинхронна машина, джерело струму, коефіцієнт потужності, релейна система управління.

**PhD Karpuk I.A., PhD Shchiolokov A.G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)
WOUND-ROTOR SLIP RECOVERY SYSTEM WITH IMPROVED DYNAMIC AND
ENERGY INDICES**

A regulated electric drive using a current source in the rotor circuit of the asynchronous machine with wound rotor has been developed. The results of the digital and physical modeling are presented in the paper.

Key words: wound-rotor slip recovery system, induction machine, a source of current, power factor, relay control system.

УДК 62-83:621.77, 62-83:681.5

к.т.н. Полилов Е.В.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, egor.polilov@gmail.com)

ОЦЕНКА ГРАНИЦ БОЛЬШИХ УКЛОНЕНИЙ ФАЗОВЫХ ПЕРЕМЕННЫХ В ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ

Впервые представлена аналитическая зависимость максимума переходной характеристики в управлении линейными динамическими системами произвольного порядка. Рассмотрены случаи $m=n$, $m<n$ однотемповых и сингулярно возмущённых систем. Получены условия возникновения т.н. феномена всплеска и неконтролируемого роста фазовых переменных.

Ключевые слова: характеристический полином, нестационарное алгебраическое уравнение, корни алгебраического уравнения, феномен всплеска.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Зависимость эффекта всплеска от спектра матрицы A (и других ее характеристик) интересовала специалистов по теории управления с самого начала становления этой научной дисциплины. Пионерской работой в этом направлении явилась статья А. А. Фельдбаума [1] 1948 года. А. А. Фельдбаум получил ряд результатов о связи расположения корней с характеристиками переходного режима. Решения ограничены *частным случаем*, когда все корни вещественны, кроме, быть может, одной комплексной пары. Вопрос о существовании больших уклонений был поставлен в конце 1970-х годов В. Н. Полоцким в ряде работ; см., например, [2, 3]. Достаточно полный ответ на этот вопрос был получен Р. Н. Измайловым в [4] в 1987 году. Показано, что “сдвиг” всех полюсов влево (это способствует более быстрой асимптотической скорости затухания процесса) приводит к неизбежной плате за это – к большим уклонениям траектории на начальном участке. Эти важные результаты Измайлова были несколько обобщены в [5], а их более простое доказательство дано в [6]. Новым шагом было доказательство того, что и при малых собственных значениях возникают большие уклонения, см. [7-9]; более того, эти эффекты присущи и другим расположениям полюсов. Существенно, но и сами авторы работ позиционируют решения лишь в оценке *нижней границы* всплеска, заведомо

полагая, что всплеск всегда больший. В разы? На порядок? Много больший? Стратегическая ошибка сторонников представленного направления исследований и, посему, ставших де-факто эмпирическими их решений заключается в неучёте *взаимного местоположения* нулей и полюсов передаточной функции $A(p_{\Omega(0)})/B(p_{\Omega(\infty)})$ проектируемой замкнутой системы, желая пояснить процессы лишь терминами собственных значений матрицы динамики A .

Особый интерес в исследовании феномена всплеска представляет класс т.н. сингулярно возмущённых или *разнотемповых* систем. Процессы в этих системах кардинально отличаются от классических однотемповых систем. Теория сингулярно возмущённых систем дифференциальных уравнений интенсивно развивается, и ее методы активно применяются для решения широкого круга задач из различных областей естествознания и техники.

Постановка задачи. Терминами классической теории автоматического управления (корневые методы) обосновать феномен всплеска и неконтролируемый рост фазовых переменных x линейных динамических систем произвольного порядка, найти аналитическую зависимость верхней границы или максимума переходной характеристики $h(t)$ однотемповых и сингулярно возмущённых систем.

Изложение материала и его результаты. Определение. Масштаб k кластера решений $\tilde{C} = (0, \tilde{c}_j(t) = k \times c_j(t))$, $\forall j = \overline{1, n}$

полинома $(R_{i(x)} : \beta_n^* p_{\Omega(x)}^n, \beta_{n-1}^* p_{\Omega(x)}^{n-1} \dots \beta_0^*)$,
клетки осей $\text{Re}, \text{Im} \tilde{C}$ и радиусов

$\tilde{R}_{i(x)} = k \cdot R_{i(x)}$ геометрических средних

$\text{gmean}(k \cdot c_j(t) \rightarrow \tilde{c}_j(t))$ есть формальная

подстановка оператора Лапласа

$p_{\tilde{\Omega}(x)} = p_{\Omega(x)} / \tilde{R}_{i(x)}$:

$$\begin{aligned} \tilde{B}(p_{\Omega(x)} \rightarrow p_{\tilde{\Omega}(x)}) &= (R_{i(x)} \rightarrow \tilde{R}_{i(x)} : \beta_n^* p_{\Omega(x)}^n, \beta_{n-1}^* p_{\Omega(x)}^{n-1} \dots \beta_0^*) = \\ &= \sum_{j=0}^n \tilde{\beta}_{n-j}(t) p_{\Omega(x)}^{n-j} = \frac{\beta_n^*}{\tilde{R}_{i(x)}^n} p_{\Omega(x)}^n + \frac{\beta_{n-1}^*}{\tilde{R}_{i(x)}^{n-1}} p_{\Omega(x)}^{n-1} + \dots + \frac{\beta_1^*}{\tilde{R}_{i(x)}} p_{\Omega(x)} + \beta_0^* = \\ &= \beta_n^* p_{\tilde{\Omega}(x)}^n + \beta_{n-1}^* p_{\tilde{\Omega}(x)}^{n-1} + \dots + \beta_{n-j}^* p_{\tilde{\Omega}(x)}^{n-j} + \dots + \beta_1^* p_{\tilde{\Omega}(x)} + \beta_0^*. \end{aligned} \quad (1)$$

Геометрически, на примере ФНЧ:

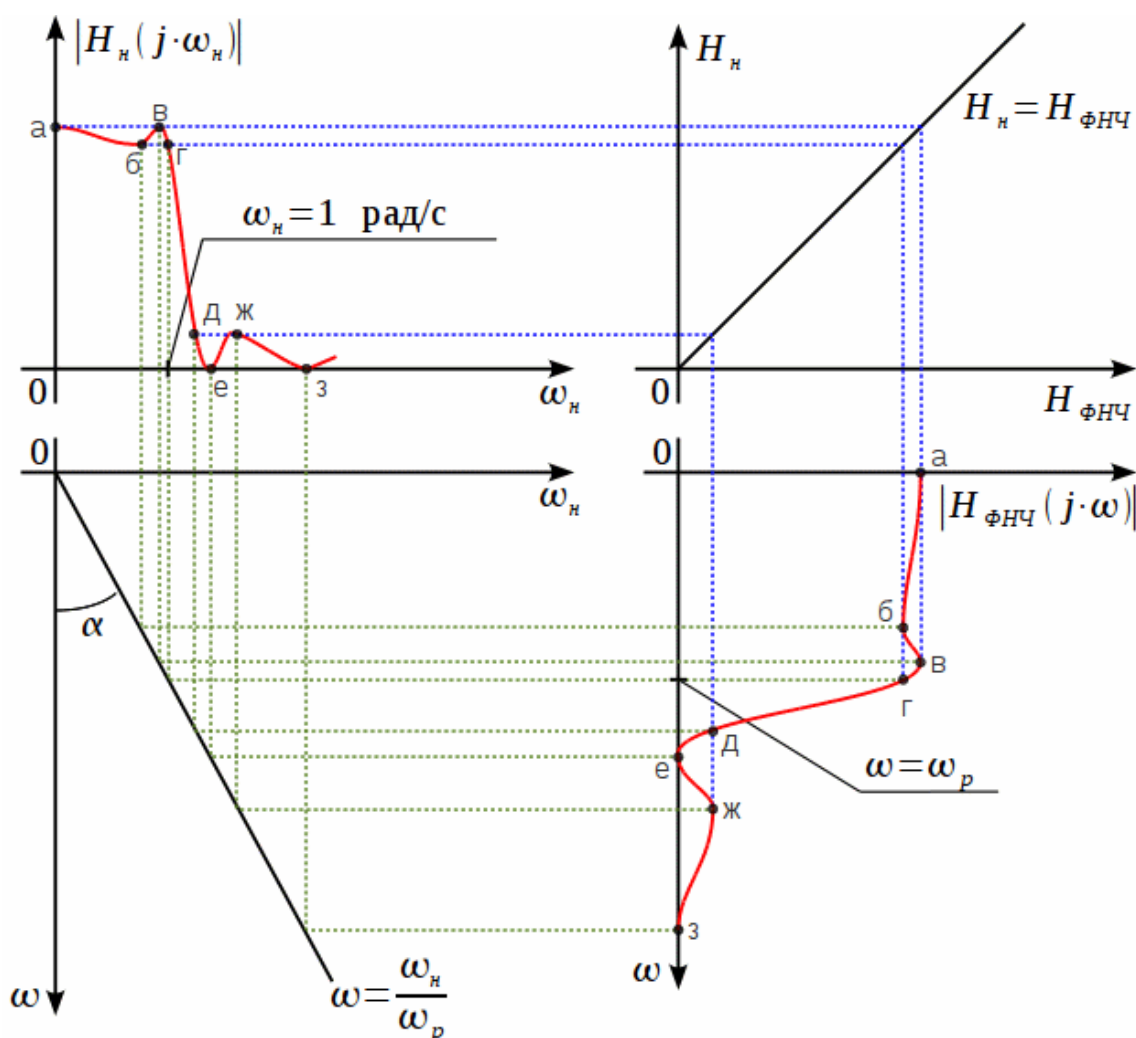


Рисунок 1 – Частотное преобразование ФНЧ

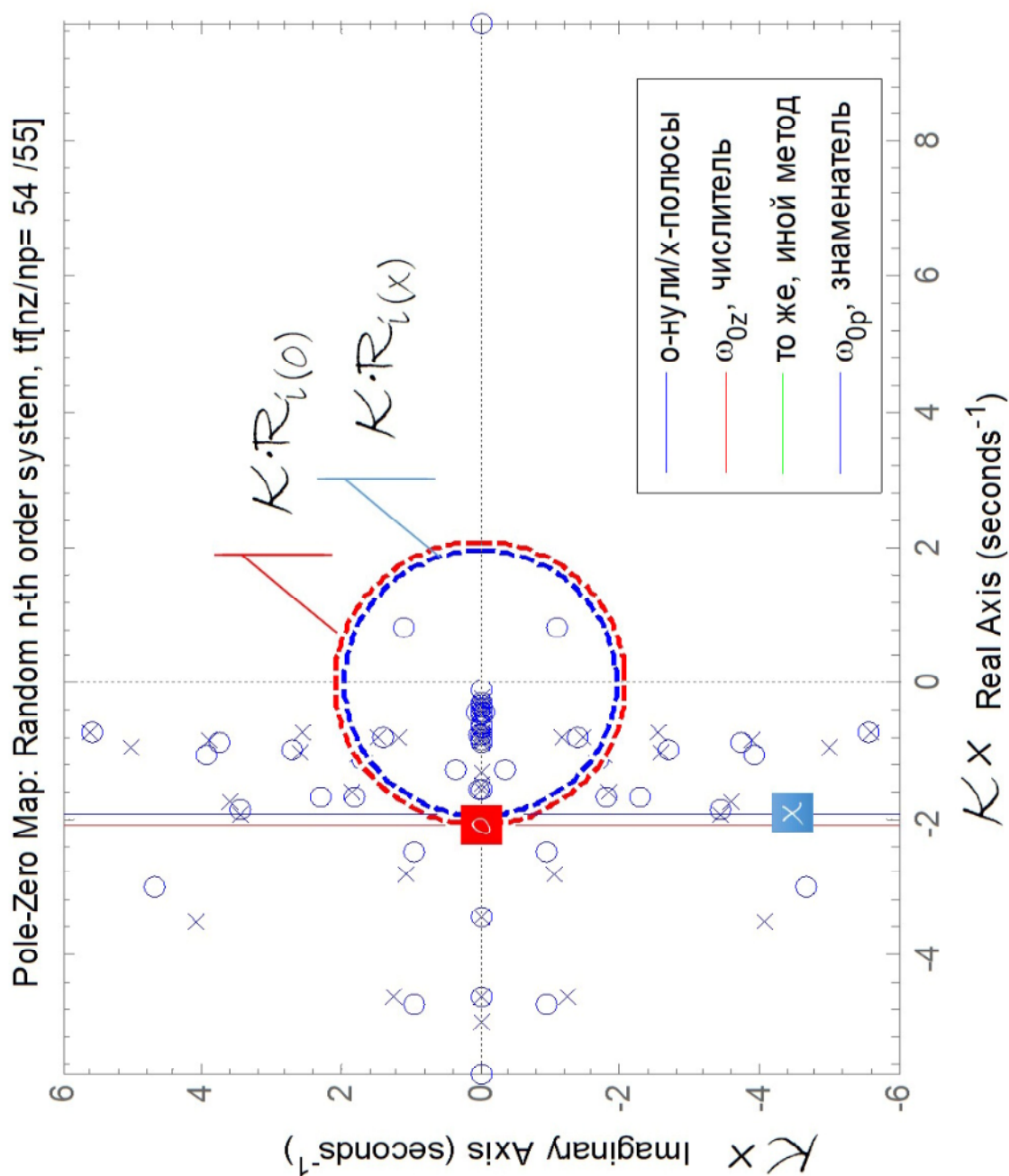
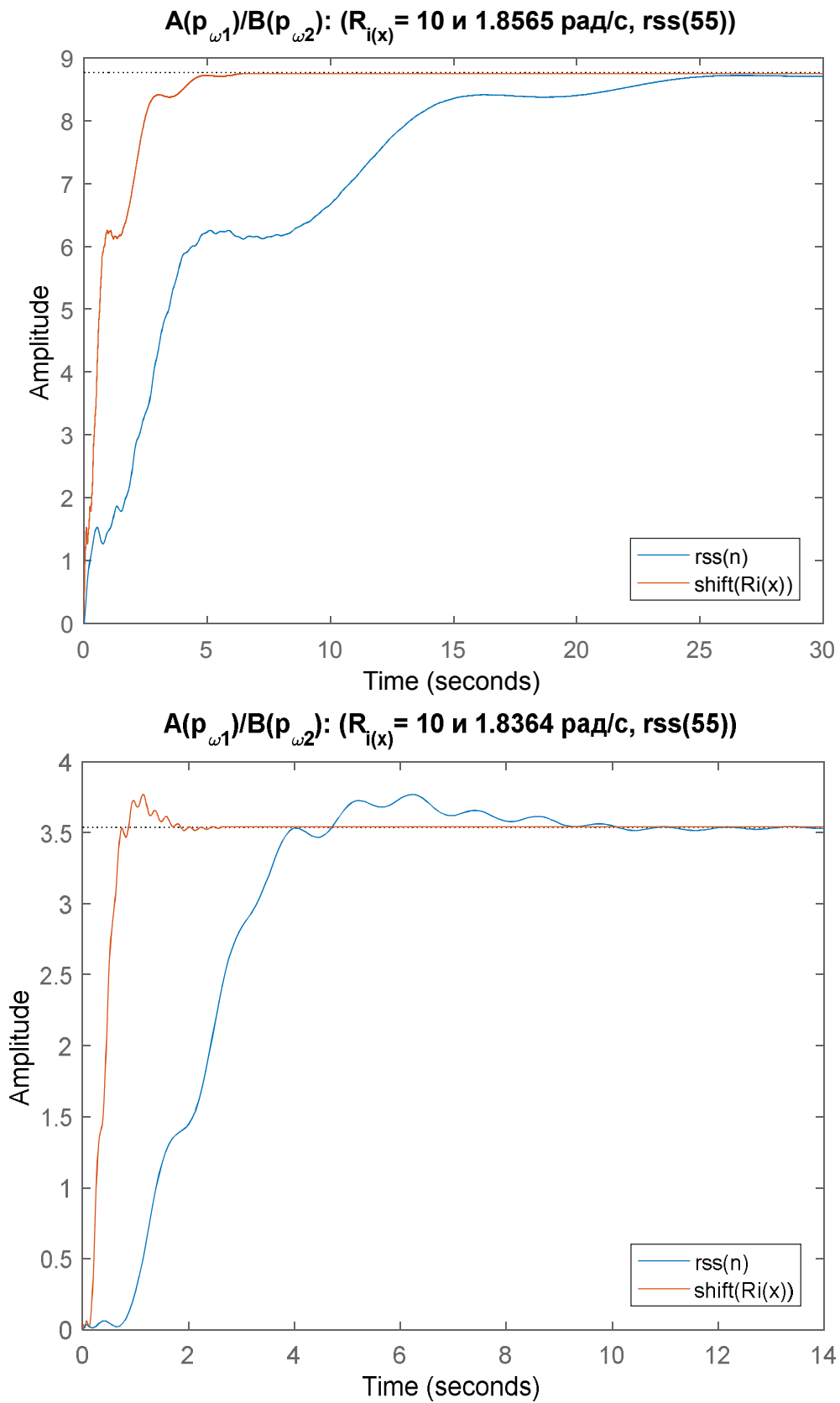


Рисунок 2 – Масштаб кластера решений $\tilde{C} = \left(0, \tilde{c}_j(t) = k \times c_j(t)\right), \forall j = \overline{1, n}$

$\tilde{B}\left(p_{\Omega_{(x)}} \rightarrow p_{\tilde{\Omega}_{(x)}}\right) = \left(R_{i(x)} \rightarrow \tilde{R}_{i(x)} : \beta_n^* p_{\Omega_{(x)}}^n, \beta_{n-1}^* p_{\Omega_{(x)}}^{n-1} \dots \beta_0^*\right)$, радиусов $\tilde{R}_{i(x)}$

геометрических средних $gmean\left(k \cdot c_j(t) \rightarrow \tilde{c}_j(t)\right)$ и клетки осей $\text{Re}, \text{Im} \tilde{C}$

Рисунок 3 – Клоны $h(t)$ во времени, системы 55-го порядка

Теорема. Гурвицев полином $B(p_{\Omega_{(x)}}) = (R_{i(x)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)$ представим произведением $B(p_{\Omega_{(x)}}) \Rightarrow \tilde{B}(p_{\Omega'_{(x)}}) \times Q(p_{\Omega_{(y)}})$ полиномов меньших степеней m и q заведомо *предопределённых* радиусов $R'_{i(x)}$ или $R_{i(y)}$ геометрических средних, $\tilde{B}(p_{\Omega'_{(x)}}) = (R'_{i(x)} : \tilde{\beta}_m^* p^m, \tilde{\beta}_{m-1}^* p^{m-1} \dots \tilde{\beta}_0^*)$ и $Q(p_{\Omega_{(y)}}) = (R_{i(y)} : \gamma_q^* p^q, \gamma_{q-1}^* p^{q-1} \dots \gamma_0^*)$ такие, что $m+q=n$. В силу свободно назначаемых m , $R'_{i(x)}$ и $\tilde{\beta}_j^* \forall j = \overline{0, m}$, например, одного из сомножителей, вариантов конфигурации $\tilde{B}(p_{\Omega'_{(x)}}) \times Q(p_{\Omega_{(y)}})$ бесконечно много. ПХ звеньев $1/B(p_{\Omega_{(x)}})$ и $1/\tilde{B}(p_{\Omega'_{(x)}}) \times Q(p_{\Omega_{(y)}})$ совпадают до бесконечно малой $\varepsilon(t) \sim 0, \forall t = \overline{0, \infty}$. Каждый из двух сомножителей $\tilde{B}(p_{\Omega'_{(x)}}) \times Q(p_{\Omega_{(y)}})$ в свою очередь расщепим на иные сомножители и т.д.

Доказательство. Сущность озвученного наиболее ярко представима элементарным расщеплением целых чисел $6 \Rightarrow 2 \times 3$ как произведения двух сомножителей. Или расщеплением полиномов малой степени $x^4 + 3x^3 - x^2 - 9x - 18 :$
 $(x^2 + x - 6)(x^2 + 2x + 3) \Rightarrow$
 $(x - 2)(x^3 + 5x^2 + 9x + 9)$, например.

Известно, любой многочлен степени n вида $P_n(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0$ представляется произведением постоянно-го множителя при старшей степени a_n и n -шт. линейных множителей $(x - x_i), \forall i = \overline{1, n}$, то есть

$P_n(x) = a_n (x - x_n)(x - x_{n-1}) \dots (x - x_1)$, причем $x_i, \forall i = \overline{1, n}$ являются корнями многочлена. Это утверждение справедливо для комплексных корней $x_i, \forall i = \overline{1, n}$ и комплексных коэффициентов $a_k, \forall k = \overline{0, n}$. Оно является основой для разложения любого многочлена $P(x_{\Omega_{(x)}}) = (R_{i(x)} : \alpha_n^* x^n, \alpha_{n-1}^* x^{n-1} \dots \alpha_0^*)$ на множители, сленгом относительных $\alpha_j^* \forall j = \overline{0, n}$.

Если коэффициенты $a_k, \forall k = \overline{0, n}$ – действительные числа, то комплексные корни многочлена *обязательно* будут встречаться комплексно-сопряженными парами. К примеру, если корни x_1 и x_2 многочлена $P_n(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0$ являются комплексно-сопряженными, а остальные корни $x_j, \forall j = \overline{3, n}$ действительные, то многочлен $P_n(x)$ представится в виде $P_n(x) = a_n (x - x_n)(x - x_{n-1}) \dots (x - x_3)(x^2 + wx + q)$.

Объединяя образованные пары $(n-k)/2$ -штук комплексно-сопряжённых корней $\langle x_i \text{ и } x_{i+1} \rangle$ в квадратичные формы $(x - x_i)(x - x_{i+1}) \Rightarrow x^2 + p_i x + q_i, \forall i = \overline{1, (n-k)/2}$, тем самым исключая комплексные числа в представлении динамических систем типовыми апериодическими звеньями 1-го порядка, и, чего не существует в терминах классической теории автоматического управления, запишем множители:

$$P_n(x) = \underbrace{\prod_{i=1}^{(n-k)/2} (x^2 + w_i x + q_i)}_{\substack{\text{пары комплексно-сопряжённых} \\ \text{корней, } (n-k)/2\text{-шт.}}} \times \underbrace{\alpha_n (x - x_n)(x - x_{n-1}) \dots (x - x_k)}_{\substack{\text{вещественные корни, } k\text{-шт.}}} \quad (2)$$

Интуитивно понятно, перестановкой элементарных множителей $(x - x_i)$ и/или $(x^2 + w_i x + q_i)$ всегда могут быть «геометрически пересобраны» два полинома $B(p_{\Omega_{(x)}}) \Rightarrow \tilde{B}(p_{\Omega'_{(x)}}) \times Q(p_{\Omega_{(y)}})$ любых степеней m и q , такие, что $m + q = n$, радиусы геометрических средних $R'_{i(x)}$ и/или $R_{i(y)}$ которых близки заведомо *предопределённым* величинам.

Более строго, полином $\tilde{B}(p_{\Omega'_{(x)}}) = (R'_{i(x)} : \tilde{\beta}_m^* p^m, \tilde{\beta}_{m-1}^* p^{m-1} \dots \tilde{\beta}_0^*)$ может быть назначен *любым*. Тогда, в силу $B(p_{\Omega_{(x)}}) \Rightarrow \tilde{B}(p_{\Omega'_{(x)}}) \times Q(p_{\Omega_{(y)}}) + R(p_{\Omega_{(\delta)}})$ парный искомый полином $Q(p_{\Omega_{(y)}}) = (R_{i(y)} : \gamma_q^* p^q, \gamma_{q-1}^* p^{q-1} \dots \gamma_0^*)$ определяется делением $B(p_{\Omega_{(x)}}) = (R_{i(x)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)$ на $\tilde{B}(p_{\Omega'_{(x)}}) = (\tilde{R}_{i(x)} : \tilde{\beta}_m^* p^m, \tilde{\beta}_{m-1}^* p^{m-1} \dots \tilde{\beta}_0^*)$ с точностью до остатка $R(p_{\Omega_{(\delta)}}) / \tilde{B}(p_{\Omega_{(x)}})$.

Доказательство закончено.

Теорема. Обратная ПФ $1/B(p_{\Omega_{(x)}}) =$

$$= \frac{1}{\underbrace{\frac{\beta_n^*}{R_{i(x)}^n} p^n + \frac{\beta_{n-1}^*}{R_{i(x)}^{n-1}} p^{n-1} + \dots + \frac{\beta_1^*}{R_{i(x)}} p + \beta_0^*}_{\substack{\text{Гурвицев полином } n\text{-го порядка,} \\ R_{i(x)} \text{ — любой положительный}}}}$$

Гурвицевого полинома $B(p_{\Omega_{(x)}}) = (R_{i(x)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)$ любого порядка n обладает *фильтрующими* свойствами независимо от геометрии и/или динамики его корней $c_j(t), j = \overline{1, n}$, (если $\beta_j^*(t) \forall j = \overline{1, n}$ — не-

стационарные), а, следовательно, и величины радиуса $R_{i(x)}(t) = \Omega_1(t)$ инварианта как их геометрического среднего.

Доказательство. Выше показано, что обратная передаточная функция $1/B(p_{\Omega_{(x)}})$ Гурвицевого полинома

$$B(p_{\Omega_{(x)}}) = (R_{i(x)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)$$

любого порядка представима (2) *последовательным соединением* $(k \leq n)$ -штук классических апериодических звеньев 1-го порядка $(0 - 20 \text{ дБ/дек ЛАЧХ})$, их образуют вещественные корни $1/(p - c_i)$, и $(n - k)/2$ -штук колебательных звеньев 2-го порядка $(0 - 40 \text{ дБ/дек ЛАЧХ})$, образованных парами оставшихся комплексно-сопряжённых корней $1/(p^2 + w_i p + q_i)$. И, очевидно, вся эта конструкция — *последовательное соединение фильтров нижних частот*, каждого из множителей в разложении $1/B(p_{\Omega_{(x)}})$, также обладает свойствами ФНЧ, $0 - n \cdot 20 \text{ дБ/дек ЛАЧХ}$.

Доказательство закончено.

Ослабление динамического звена $1/B(p_{\Omega_{(x)}})$ для частот $\Omega_{\text{ex}} > R_{i(x)}$ на участке $-n \cdot 20 \text{ дБ/дек}$:

$$20n \times \lg \Omega^*, [\text{дБ}] \text{ или } 10^{n \times \lg \Omega^*}, [\text{раз}] \quad (3)$$

здесь $\Omega^* = \Omega_{\text{ex}} / \Omega_{\phi} \geq 1$.

Низкочастотный фильтр 7-го порядка ослабит входной сигнал с кратностью частот $\Omega^* = 2$ в $10^{7 \times \lg 2} = 128$ раз. В справедливости (3) легко убедиться: *декада* $\Omega^* = 1$, $10^{7 \times \lg 1} = 1$ раз и $\Omega^* = 10$, $20 \cdot 7 \times \lg 10 = 7 \cdot 20 \text{ дБ}$; линия наклоном $-n \cdot 20 \text{ дБ/дек}$, *идеальная аппроксимация* фильтра низких частот.

Множитель $M = 10^{-n \times \lg \Omega^*} \ll 1$ будем использовать при оценке максимума переходной характеристики $h(t)$.

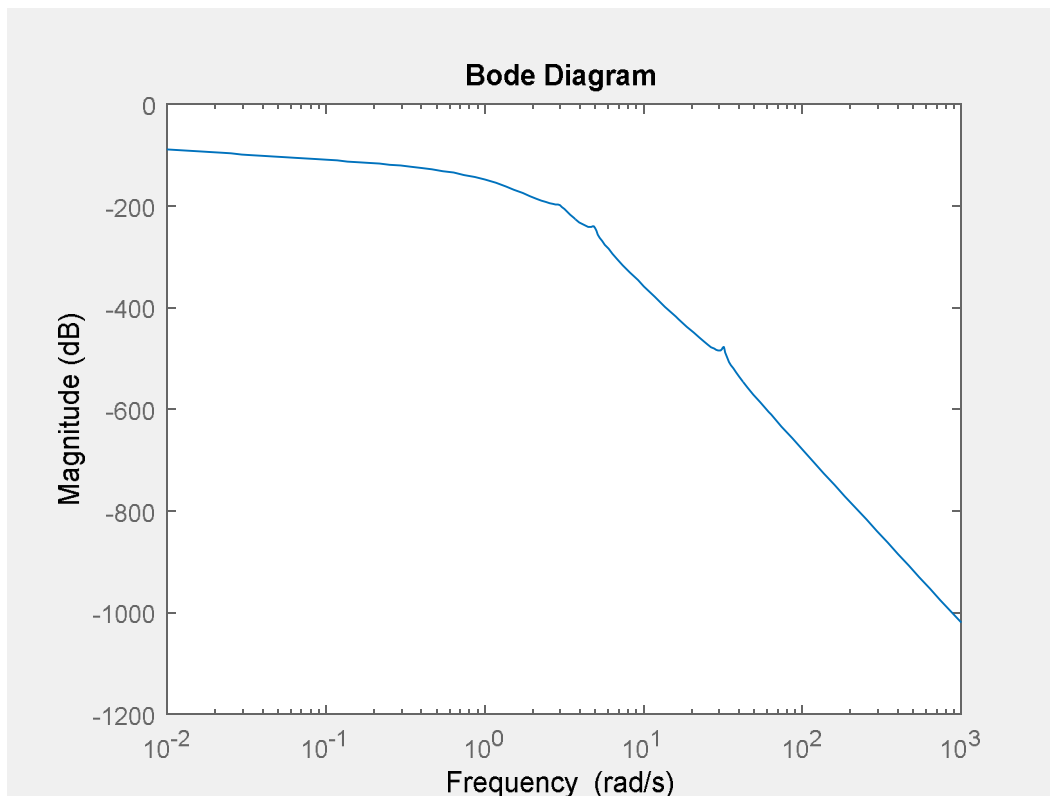


Рисунок 4 – АЧХ ПФ $1/B(p_{\Omega_{(x)}})$, наклон $-n \cdot 20$ дБ/дек

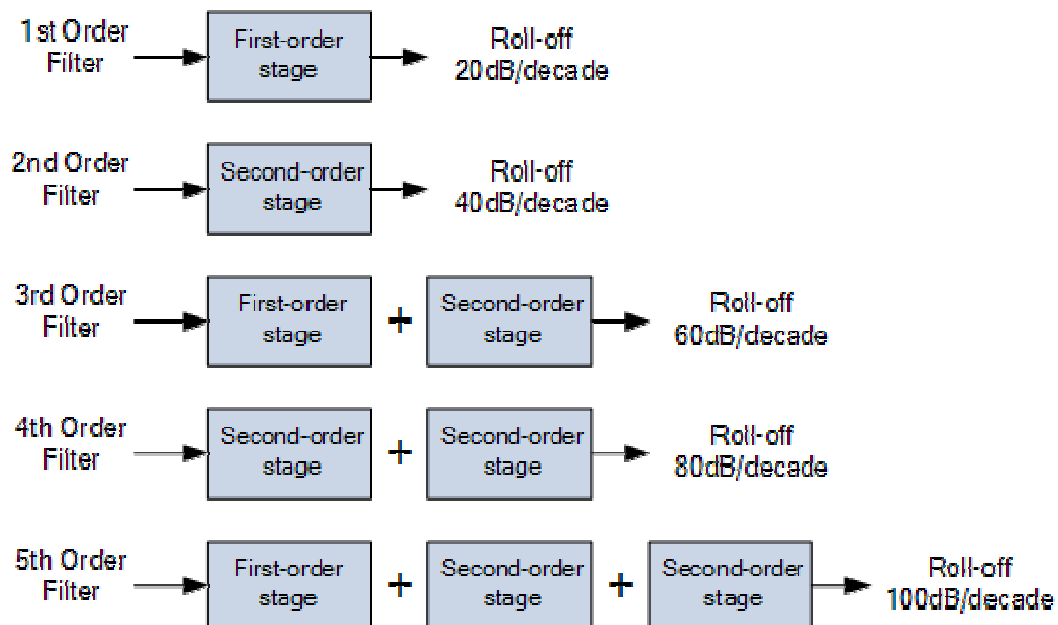


Рисунок 5 – Графическая интерпретация произведения

$$1/P_n(x) = 1/a_n (x-x_n)(x-x_{n-1})\dots(x-x_k) \times \prod_{i=1}^{(n-k)/2} (x^2 + w_i x + q_i)$$

Теорема. Максимум переходной характеристики $h(t)$ устойчивой нестационарной

сингулярно невозмущённой динамической системы, описываемой линейной ПФ

$$\begin{aligned}
 W(p_{\Omega_{(0,\times)}}) &= \frac{A(p_{\Omega_{(0)}})}{B(p_{\Omega_{(\times)}})} = k_0 \frac{\sum_{i=0}^m \alpha_{m-i}(t) p^{m-i}}{\sum_{j=0}^n \beta_{n-j}(t) p^{n-j}} = \\
 &= k_0 \frac{\alpha_m^* p_{\Omega_{(0)}}^m + \alpha_{m-1}^* p_{\Omega_{(0)}}^{m-1} + \dots + \alpha_{m-j}^* p_{\Omega_{(0)}}^{m-j} + \dots + \alpha_1^* p_{\Omega_{(0)}} + \alpha_0^*}{\beta_n^* p_{\Omega_{(\times)}}^n + \beta_{n-1}^* p_{\Omega_{(\times)}}^{n-1} + \dots + \beta_{n-j}^* p_{\Omega_{(\times)}}^{n-j} + \dots + \beta_1^* p_{\Omega_{(\times)}} + \beta_0^*} = \\
 &= k_0 \frac{\frac{\alpha_m^*}{R_{i(0)}^m} p^m + \frac{\alpha_{m-1}^*}{R_{i(0)}^{m-1}} p^{m-1} + \dots + \frac{\alpha_{m-j}^*}{R_{i(0)}^{m-j}} p^{m-j} + \dots + \frac{\alpha_1^*}{R_{i(0)}} p + \alpha_0^*}{\frac{\beta_n^*}{R_{i(\times)}^n} p^n + \frac{\beta_{n-1}^*}{R_{i(\times)}^{n-1}} p^{n-1} + \dots + \frac{\beta_{n-j}^*}{R_{i(\times)}^{n-j}} p^{n-j} + \dots + \frac{\beta_1^*}{R_{i(\times)}} p + \beta_0^*}
 \end{aligned} \quad (4)$$

(здесь $p_{\Omega_{(0)}} = p / \Omega_{(0)}$, $p_{\Omega_{(\times)}} = p / \Omega_{(\times)}$; $R_{i(0,\times)} = \Omega_{(0,\times)} = \text{gmean}(0, \times)$ и $\alpha_{m-j}^* = \alpha_{m-j} \cdot \Omega_{(0)}^{m-j}$, $\beta_{n-j}^* = \beta_{n-j} \cdot \Omega_{(\times)}^{n-j}$) для всех $m=n$ имеет место в квант времени $t=0$ и однозначно определяется геометрическими средними $\text{gmean}(c_i(t))$, $i=\overline{1,m}$

$\text{gmean}(c_j(t))$ корней $c_1(t)$, $c_2(t)$, ..., $c_{m+n}(t)$ полиномов числителя $A(p)$ и знаменателя $B(p)$ (как энергетической меры сил $k = R_{i(\times)} / R_{i(0)}$ сингулярностей полиномов $k < 1$, $k = 1$ и $k > 1$):

$$\begin{aligned}
 \max_{t=0, \infty} h(t) \Big|_{t=0+} &= k_0 \frac{\alpha_m^*}{\beta_n^*} \times \underbrace{\frac{R_{i(\times)}^n}{R_{i(0)}^m}}_{k=R_{i(\times)}/R_{i(0)}, \text{ кратность радиусов инвариантов Полилова-Мотченко}} = k_0 \frac{\alpha_m^*}{\beta_n^*} \times k^m; \\
 k^m &= \underbrace{\left(\frac{\left(\prod_{i=1}^n c_i(t) \right)^{1/n}}{\left(\prod_{j=1}^m c_j(t) \right)^{1/m}} \right)^m}_{\text{то же, сленгом геометрических средних корней } c_{i,j}(t) \text{ полиномов числителя } A(p) \text{ и знаменателя } B(p) \text{ рассматриваемой ПФ}} = \underbrace{\frac{\alpha_m(t)}{\alpha_0(t)} \left(\frac{\beta_0(t)}{\beta_n(t)} \right)^{m/n}}_{\text{или категориями коэффициентов полиномов числителя } A(p) \text{ и знаменателя } B(p) \text{ рассматриваемой ПФ}} \Big|_{t=0+}, \quad (5)
 \end{aligned}$$

где $R_{i(0)}(t) = \sqrt[m]{\alpha_0(t) / \alpha_m(t)}$ и $R_{i(\times)}(t) = \sqrt[n]{\beta_0(t) / \beta_n(t)}$ – радиусы инвариантов Полилова-Мотченко [10-14] (геометрические средние m -шт. нулей (0) и

n -шт. полюсов (\times) линейной динамической системы с передаточной функцией $A(p_{\Omega_{(0)}}) / B(p_{\Omega_{(\times)}})$ сленгом классической теории автоматического управления).

Доказательство. Началу движения $t = 0$ динамической системы (4) соответствует оператор Лапласа $p = \infty$.

Передаточная функция $W(p)$ в этот квант времени не определена:

$$W(p) = \frac{A(p_{\Omega(0)})}{B(p_{\Omega(\times)})} \bigg|_{t=0} = k_0 \frac{\sum_{i=0}^m \alpha_{m-i}(t) p^{m-i}}{\sum_{j=0}^n \beta_{n-j}(t) p^{n-j}} \bigg|_{p=\infty} =$$

$$= \lim_{p \rightarrow \infty} k_0 \frac{\frac{\alpha_m^*}{R_{i(0)}^m} p^m + \frac{\alpha_{m-1}^*}{R_{i(0)}^{m-1}} p^{m-1} + \dots + \frac{\alpha_{m-j}^*}{R_{i(0)}^{m-j}} p^{m-j} + \dots + \frac{\alpha_1^*}{R_{i(0)}} p + \alpha_0^*}{\frac{\beta_n^*}{R_{i(\times)}^n} p^n + \frac{\beta_{n-1}^*}{R_{i(\times)}^{n-1}} p^{n-1} + \dots + \frac{\beta_{n-j}^*}{R_{i(\times)}^{n-j}} p^{n-j} + \dots + \frac{\beta_1^*}{R_{i(\times)}} p + \beta_0^*} = \begin{pmatrix} \infty \\ \infty \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Для раскрытия неопределенности преобразуем $A(p_{\Omega(0)})/B(p_{\Omega(\times)})$, разделив числитель и знаменатель на старшие степени многочленов $A(p_{\Omega(0)})$ и $B(p_{\Omega(\times)})$:

$$\lim_{p \rightarrow \infty} \frac{p^m}{p^n} k_0 \frac{\frac{\alpha_m^*}{R_{i(0)}^m} + \frac{\alpha_{m-1}^*}{R_{i(0)}^{m-1}} \frac{p^{m-1}}{p^m} + \dots + \frac{\alpha_{m-j}^*}{R_{i(0)}^{m-j}} \frac{p^{m-j}}{p^m} + \dots + \frac{\alpha_1^*}{R_{i(0)}} \frac{p}{p^m} + \alpha_0^* \frac{1}{p^m}}{\frac{\beta_n^*}{R_{i(\times)}^n} + \frac{\beta_{n-1}^*}{R_{i(\times)}^{n-1}} \frac{p^{n-1}}{p^n} + \dots + \frac{\beta_{n-j}^*}{R_{i(\times)}^{n-j}} \frac{p^{n-j}}{p^n} + \dots + \frac{\beta_1^*}{R_{i(\times)}} \frac{p}{p^n} + \beta_0^* \frac{1}{p^n}} =$$

$$= \lim_{p \rightarrow \infty} \frac{1}{p^{n-m}} k_0 \frac{\underbrace{\frac{\alpha_m^*}{R_{i(0)}^m} + \frac{\alpha_{m-1}^*}{R_{i(0)}^{m-1}} \frac{1}{p} + \dots + \frac{\alpha_{m-j}^*}{R_{i(0)}^{m-j}} \frac{1}{p^j} + \dots + \frac{\alpha_1^*}{R_{i(0)}} \frac{1}{p^{m-1}} + \alpha_0^* \frac{1}{p^m}}_{\sim 0, \text{ бесконечно малые}}}{\underbrace{\frac{\beta_n^*}{R_{i(\times)}^n} + \frac{\beta_{n-1}^*}{R_{i(\times)}^{n-1}} \frac{1}{p} + \dots + \frac{\beta_{n-j}^*}{R_{i(\times)}^{n-j}} \frac{1}{p^j} + \dots + \frac{\beta_1^*}{R_{i(\times)}} \frac{1}{p^{n-1}} + \beta_0^* \frac{1}{p^n}}_{\sim 0, \text{ бесконечно малые}}} =$$

$$= \begin{cases} k_0 \frac{\alpha_m^* R_{i(\times)}^n}{\beta_n^* R_{i(0)}^m}, & \forall m = n; \\ 0, & \forall m < n \text{ и } \pm\infty, \forall m > n. \end{cases} \quad (7)$$

Доказательство окончено.

Динамика *всегда неизменна* и подобна представленной на рис. 6. В нулевой квант времени имеет место $\max_{t=0,\infty} h(t)$, процесс лавинообразно и колебательно уменьшается до установившегося значения. α_m^* и β_n^* , как, впрочем, и α_0^* и β_0^* всегда равны 1.

Особо обращаем внимание, на рис. 6 представлена *не импульсная*, а переходная характеристика $h(t)$ линейной динамической системы $A(p_{\Omega(0)})/B(p_{\Omega(\times)}) \forall m = n$, как реакция на $1(t)$. Феномен всплеска $h(t)$ имеет место для всех $R_{i(0)} < R_{i(\times)}$.

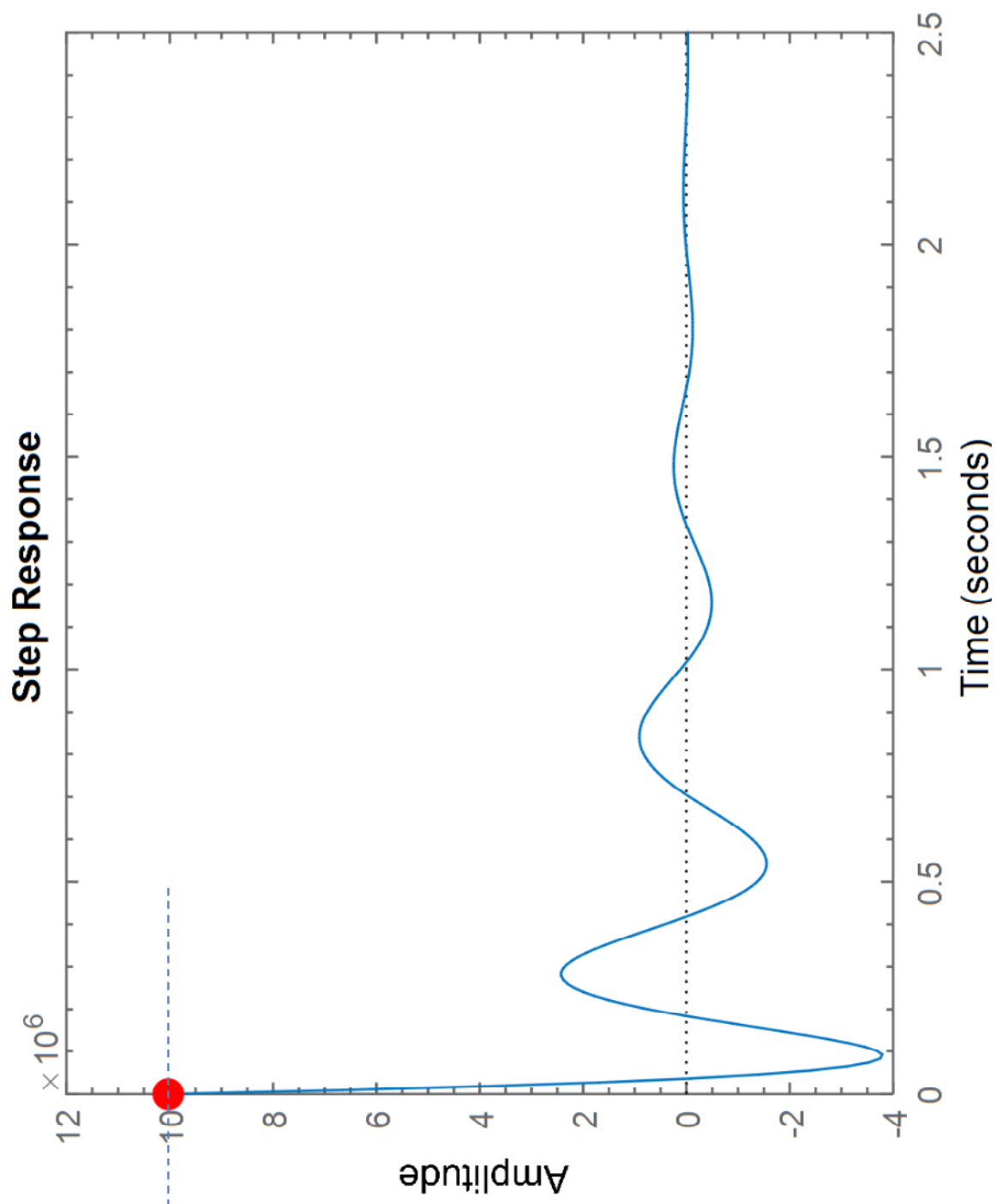


Рисунок 6 – ПХ $h(t)$ устойчивой нестационарной
 сингулярно невозмущённой динамической системы $A(p_{\Omega_{(0)}}) / B(p_{\Omega_{(x)}})$, $\forall m = n$

Теорема. Максимум переходной характеристики $h(t)$ устойчивой нестационарной *сингулярно невозмущённой* динамической системы, описываемой линейной ПФ

$$\begin{aligned}
 W(p_{\Omega_{(0,\times)}}) &= \frac{A(p_{\Omega_{(0)}})}{B(p_{\Omega_{(\times)}})} = k_0 \frac{\sum_{i=0}^m \alpha_{m-i}(t) p^{m-i}}{\sum_{j=0}^n \beta_{n-j}(t) p^{n-j}} = \\
 &= k_0 \frac{\alpha_m^* p_{\Omega_{(0)}}^m + \alpha_{m-1}^* p_{\Omega_{(0)}}^{m-1} + \dots + \alpha_{m-j}^* p_{\Omega_{(0)}}^{m-j} + \dots + \alpha_1^* p_{\Omega_{(0)}} + \alpha_0^*}{\beta_n^* p_{\Omega_{(\times)}}^n + \beta_{n-1}^* p_{\Omega_{(\times)}}^{n-1} + \dots + \beta_{n-j}^* p_{\Omega_{(\times)}}^{n-j} + \dots + \beta_1^* p_{\Omega_{(\times)}} + \beta_0^*} = \\
 &= k_0 \frac{\frac{\alpha_m^*}{R_{i(0)}^m} p^m + \frac{\alpha_{m-1}^*}{R_{i(0)}^{m-1}} p^{m-1} + \dots + \frac{\alpha_{m-j}^*}{R_{i(0)}^{m-j}} p^{m-j} + \dots + \frac{\alpha_1^*}{R_{i(0)}} p + \alpha_0^*}{\frac{\beta_n^*}{R_{i(\times)}^n} p^n + \frac{\beta_{n-1}^*}{R_{i(\times)}^{n-1}} p^{n-1} + \dots + \frac{\beta_{n-j}^*}{R_{i(\times)}^{n-j}} p^{n-j} + \dots + \frac{\beta_1^*}{R_{i(\times)}} p + \beta_0^*}
 \end{aligned} \quad (8)$$

(здесь $p_{\Omega_{(0)}} = p / \Omega_{(0)}$, $p_{\Omega_{(\times)}} = p / \Omega_{(\times)}$;

$R_{i(0,\times)} = \Omega_{(0,\times)} = \text{gmean}(0,\times)$ и

$\alpha_{m-j}^* = \alpha_{m-j} \cdot \Omega_{(0)}^{m-j}$, $\beta_{n-j}^* = \beta_{n-j} \cdot \Omega_{(\times)}^{n-j}$)

для всех $m < n$ имеет место в квант времени $t > 0$, и *однозначно* определяется геометрическими средними $\text{gmean}(c_i(t))$, $i=1, m$

$\text{gmean}(c_j(t))$ корней $c_1(t)$, $c_2(t)$, ..., $c_{m+n}(t)$

полиномов числителя $A(p)$ и знаменателя $B(p)$ (как энергетической меры сил $k = R_{i(\times)} / R_{i(0)}$ сингулярностей полиномов $k < 1$, $k = 1$ и $k > 1$):

$$\begin{aligned}
 \max_{t=0, \infty} h(t) \Big|_{t>0} &= M \times k_0 \frac{\alpha_m^*}{\tilde{\beta}_m^*} \times \underbrace{\frac{R_{i(\times)}^m}{R_{i(0)}^m}}_{k=R_{i(\times)}/R_{i(0)}, \text{ кратность радиусов инвариантов Полилова-Мотченко}} = M \times k_0 \frac{\alpha_m^*}{\tilde{\beta}_m^*} \times k^m; \\
 k^m &= \underbrace{\left(\left(\prod_{i=1}^n c_i(t) \right)^{1/n} / \left(\prod_{j=1}^m c_j(t) \right)^{1/m} \right)^m}_{\text{то же, сленгом геометрических средних корней } c_{i,j}(t) \text{ полиномов числителя } A(p) \text{ и знаменателя } B(p) \text{ рассматриваемой ПФ}} = \underbrace{\frac{\alpha_m(t)}{\alpha_0(t)} \left(\frac{\beta_0(t)}{\beta_n(t)} \right)^{m/n}}_{\text{или категориями коэффициентов полиномов числителя } A(p) \text{ и знаменателя } B(p) \text{ рассматриваемой ПФ}} \Big|_{t=0+}, \quad (9)
 \end{aligned}$$

где $R_{i(0)}(t) = \sqrt[n]{\alpha_0(t) / \alpha_m(t)}$ и $R_{i(\times)}(t) = \sqrt[n]{\beta_0(t) / \beta_n(t)}$ – радиусы инвариантов Полилова-Мотченко (геометрические средние m -шт. нулей (0) и n -шт. полюсов (\times) линейной динамической системы (8)). Множитель $M \ll 1$

$\forall m < n$. $M = 10^{-k \times \lg \Omega^*}$ определён в теореме о фильтрации, здесь $\Omega^* = \Omega_{\text{ex}} / \Omega_{\phi} \geq 1$ и $k \leq m - n$ порядок ФНЧ.

Доказательство. Пусть полином m -го порядка

$$\tilde{B}(p_{\Omega_{(x)}}) = (R_{i(x)} : \tilde{\beta}_m^* p^m, \tilde{\beta}_{m-1}^* p^{m-1} \dots \tilde{\beta}_0^*)$$

любой Гурвицев выписан по заведомо предопределённой и/или желаемой геометрии решений $c_j(t), j = \overline{1, m}$, например, решения m шт. равномерно расположим на полуокружности по Баттерворту или с любым иным стандартным распределением корней в левой полуплоскости, и, важно, масштабируемы геометрическим средним $R'_{i(x)} \equiv R_{i(x)}$, численно совпадающим с геометрическим средним $R_{i(x)}$ полинома

$$B(p_{\Omega_{(x)}}) = (R_{i(x)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)$$

знаменателя ПФ.

Полином знаменателя

$$B(p_{\Omega_{(x)}}) = (R_{i(x)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)$$

представим в виде произведения двух различных полиномов

$$B(p_{\Omega_{(x)}}) \Rightarrow \tilde{B}(p_{\Omega_{(x)}}) \times G(p_{\Omega_{(\gamma)}}), \quad \text{здесь}$$

второй сомножитель

$$G(p_{\Omega_{(\gamma)}}) = (R_{i(\gamma)} : \gamma_k^* p^k, \gamma_{k-1}^* p^{k-1} \dots \gamma_0^*)$$

– искомое. Очевидно, $G(p_{\Omega_{(\gamma)}})$ определим

делением известных $B(p_{\Omega_{(x)}}) / \tilde{B}(p_{\Omega_{(x)}}) \Rightarrow$

$$G(p_{\Omega_{(\gamma)}}) + R(p_{\Omega_{(\rho)}}) / \tilde{B}(p_{\Omega_{(x)}}) \text{ столбиком}$$

$$G(p_{\Omega_{(\gamma)}}) \equiv \frac{B(p_{\Omega_{(x)}})}{\tilde{B}(p_{\Omega_{(x)}})} : \quad (10)$$

$$\frac{\underbrace{\frac{\beta_n^*}{R_{i(x)}^n} p^n + \frac{\beta_{n-1}^*}{R_{i(x)}^{n-1}} p^{n-1} + \dots + \frac{\beta_{n-j}^*}{R_{i(x)}^{n-j}} p^{n-j} + \dots + \frac{\beta_1^*}{R_{i(x)}} p + \beta_0^*}_{\text{делимое}}}{\underbrace{\frac{\tilde{\beta}_m^*}{R_{i(x)}^m} p^m + \frac{\tilde{\beta}_{m-1}^*}{R_{i(x)}^{m-1}} p^{m-1} + \dots + \frac{\tilde{\beta}_{m-j}^*}{R_{i(x)}^{m-j}} p^{m-j} + \dots + \frac{\tilde{\beta}_1^*}{R_{i(x)}} p + \tilde{\beta}_0^*}_{\text{делитель}}} =$$

$$\underbrace{\frac{\gamma_k^*}{R_{i(\gamma)}^k} p^k + \frac{\gamma_{k-1}^*}{R_{i(\gamma)}^{k-1}} p^{k-1} + \dots + \frac{\gamma_{k-j}^*}{R_{i(\gamma)}^{k-j}} p^{k-j} + \dots + \frac{\gamma_1^*}{R_{i(\gamma)}} p + \gamma_0^*}_{\text{частное}} + \underbrace{\frac{R(p_{\Omega_{(\rho)}})}{\tilde{B}(p_{\Omega_{(x)}})}}_{\text{остаток}},$$

здесь $k \leq n - m$.

Ненулевой остаток $R(p_{\Omega_{(\delta)}}) / \tilde{B}(p_{\Omega_{(x)}})$ в случае «некратного деления» отбросим в силу слабого влияния, что графически подтвердим позже, сравнивая обе переходные характеристики $h(t)$.

Имеем, передаточная функция $W(p_{\Omega_{(0,x)}})$ системы:

$$\frac{A(p_{\Omega_{(0)}})}{B(p_{\Omega_{(x)}})} \Rightarrow \frac{A(p_{\Omega_{(0)}})}{\tilde{B}(p_{\Omega_{(x)}}) \times G(p_{\Omega_{(\gamma)}})} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underbrace{\left(\frac{A(p_{\Omega_{(0)}})}{\tilde{B}(p_{\Omega_{(x)}})} \right)}_{\text{фиктивный генерирующий}} \times \underbrace{\frac{1}{G(p_{\Omega_{(\gamma)}})}}_{\text{избыточный фильтрующий}}.$$

В развёрнутом виде, ПФ

$$\begin{aligned}
 W(p_{\Omega_{(0,\times)}}) &= \frac{(R_{i(0)} : \alpha_m^* p^m, \alpha_{m-1}^* p^{m-1} \dots \alpha_0^*)}{(R_{i(\times)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)} = \frac{A(p_{\Omega_{(0)}})}{\tilde{B}(p_{\Omega_{(\times)}}) G(p_{\Omega_{(\gamma)}})} = \\
 &= \frac{(R_{i(0)} : \alpha_m^* p^m, \alpha_{m-1}^* p^{m-1} \dots \alpha_0^*)}{(R'_{i(\times)} \equiv R_{i(\times)} : \tilde{\beta}_m^* p^m, \tilde{\beta}_{m-1}^* p^{m-1} \dots \tilde{\beta}_0^*) (R_{i(\gamma)} < R_{i(\times)} : \gamma_k^* p^k, \gamma_{k-1}^* p^{k-1} \dots \gamma_0^*)} = \\
 &= \underbrace{\frac{(R_{i(0)} : \alpha_m^* p^m, \alpha_{m-1}^* p^{m-1} \dots \alpha_0^*)}{(R'_{i(\times)} \equiv R_{i(\times)} : \tilde{\beta}_m^* p^m, \tilde{\beta}_{m-1}^* p^{m-1} \dots \tilde{\beta}_0^*)}}_{\substack{\text{1-й сомножитель,} \\ \text{фиктивный генерирующий}}} \times \underbrace{\frac{1}{(R_{i(\gamma)} < R_{i(\times)} : \gamma_k^* p^k, \gamma_{k-1}^* p^{k-1} \dots \gamma_0^*)}}_{\substack{\text{2-й сомножитель,} \\ \text{избыточный фильтрующий}}}.
 \end{aligned} \quad (11)$$

Или с неединичным k_0

$$\begin{aligned}
 W(p_{\Omega_{(0,\times)}}) &= k_0 \left\langle \frac{\frac{\alpha_m^*}{R_{i(0)}^m} p^m + \frac{\alpha_{m-1}^*}{R_{i(0)}^{m-1}} p^{m-1} + \dots + \frac{\alpha_{m-j}^*}{R_{i(0)}^{m-j}} p^{m-j} + \dots + \frac{\alpha_1^*}{R_{i(0)}} p + \alpha_0^*}{\frac{\tilde{\beta}_m^*}{R_{i(\times)}^m} p^m + \frac{\tilde{\beta}_{m-1}^*}{R_{i(\times)}^{m-1}} p^{m-1} + \dots + \frac{\tilde{\beta}_{m-j}^*}{R_{i(\times)}^{m-j}} p^{m-j} + \dots + \frac{\tilde{\beta}_1^*}{R_{i(\times)}} p + \tilde{\beta}_0^*} \right\rangle \times \\
 &\quad \underbrace{\text{Виртуальный всплеск } k_0 \frac{\alpha_m^*}{\tilde{\beta}_m^*} \times (R_{i(\times)}/R_{i(0)})^m, \text{ тем самым однозначно}}_{\substack{\text{определена отправная точка, очевидно всегда больший } \max_{t=0,\infty} h(t)}} \quad (12) \\
 &\quad \times 1 / \left\langle \frac{\gamma_k^*}{R_{i(\gamma)}^k} p^k + \frac{\gamma_{k-1}^*}{R_{i(\gamma)}^{k-1}} p^{k-1} + \dots + \frac{\gamma_{k-j}^*}{R_{i(\gamma)}^{k-j}} p^{k-j} + \dots + \frac{\gamma_1^*}{R_{i(\gamma)}} p + \gamma_0^* \right\rangle. \\
 &\quad \text{Фильтрующий полином, гасит виртуальный } k_0 \frac{\alpha_m^*}{\tilde{\beta}_m^*} \times (R_{i(\times)}/R_{i(0)})^m \\
 &\quad \text{до точки перегиба } \max_{t=0,\infty} h(t). \text{ Очевиден и масштаб гашения } M \ll 1
 \end{aligned}$$

Очевидно, и в силу представленной теоремы о фильтрах, 2-й сомножитель $1/G(p_{\Omega_{(\gamma)}})$ «безобидный», обладает фильтрующими свойствами. И даже несущественны ни его порядок $k \leq n - m$, ни его геометрическое среднее $R_{i(\gamma)}$. В любом случае, «пропуская сквозь себя» сгенерированное в виртуальном 1-ом форсирующем сомножителе $A(p_{\Omega_{(0)}})/\tilde{B}(p_{\Omega_{(\times)}})$, последовательно соединённые, $1/G(p_{\Omega_{(\gamma)}})$ либо повторит поданное практически без изменений при

$R_{i(\gamma)} \gg R_{i(\times)}$, приближая ПХ $h(t)$ к предельному случаю $\tilde{h}(t)$, когда степени полиномов числителя

$$A(p_{\Omega_{(0)}}) = (R_{i(0)} : \alpha_m^* p^m, \alpha_{m-1}^* p^{m-1} \dots \alpha_0^*) \text{ и}$$

$$B(p_{\Omega_{(\times)}}) = (R_{i(\times)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)$$

знаменателя близки и $h_2(t) \cong 1$, либо же частично погасит виртуальное избыточное $\tilde{h}(t)$ до $\tilde{h}(t) \times h_2(t) \cong h(t)$, когда $R_{i(\gamma)} < R_{i(\times)}$, и очевидны доминирующие явные фильтрующие свойства.

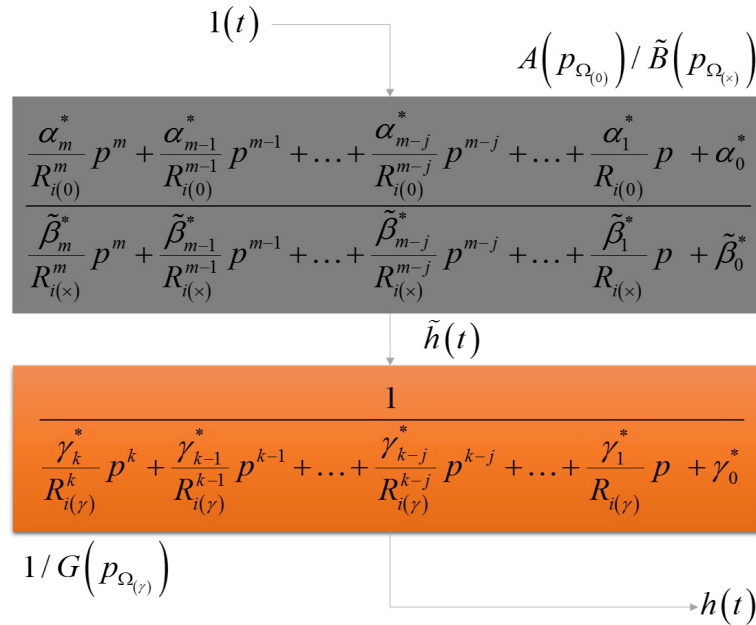


Рисунок 7 – Графическая интерпретация решения

Иными словами, однозначно определена верхняя граница феномена всплеска любой динамической системы. Выше точки перегиба, пика $\tilde{h}(t)$, определяемой в виртуальном 1-ом форсирующем сомножителе $A(p_{\Omega(0)})/\tilde{B}(p_{\Omega(x)})$, нет и быть не может. Пик $\tilde{h}(t)$, в свою очередь, определён однозначно как степенная функция кратности $k = R_{i(x)}/R_{i(0)}$ геометрических средних генерирующих полиномов $A(p_{\Omega(0)}) = (R_{i(0)} : \alpha_m^* p^m, \alpha_{m-1}^* p^{m-1} \dots \alpha_0^*)$ и $\tilde{B}(p_{\Omega(x)}) = (R_{i(x)} : \tilde{\beta}_m^* p^m, \tilde{\beta}_{m-1}^* p^{m-1} \dots \tilde{\beta}_0^*)$: $\max \tilde{h}(t) \equiv (R_{i(x)}/R_{i(0)})^m$ и имеет место в нулевой квант времени $t = 0 +$ с лавинообразным спадом $t + \Delta t$ при подаче внешних воздействий $1(t)$ и/или ненулевых начальных условий и трогании системы с места инъекцией колоссального количества энергии.

Имеет ли смысл и дальше искать истинную «точку перегиба» фильтрованного $\tilde{h}(t)$, математически протягивая его сквозь $1/G(p_{\Omega(\gamma)})$?

Пожалуй, нет, даже несмотря на простоту решения $M = 10^{-k \times \lg \Omega^*}$. Поскольку принципиально *никаких иных методов* воздействия на точку перегиба $\max(h(t) \Rightarrow \tilde{h}(t) \times h_2(t))$ ПХ динамической системы, кроме примитива математического сдвига/масштабирования геометрических средних $R_{i(x)} \rightarrow shift$ и/или $R_{i(0)} \rightarrow shift$, не суть важно даже, чем реализованного *технически*, а также переформатирования порядков m и n полиномов числителя и знаменателя $A(p_{\Omega(0)}) = (R_{i(0)} : \alpha_m^* p^m, \alpha_{m-1}^* p^{m-1} \dots \alpha_0^*)$, $B(p_{\Omega(x)}) = (R_{i(x)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)$ ПФ (алгоритмами управления) в теории автоматического управления нет!

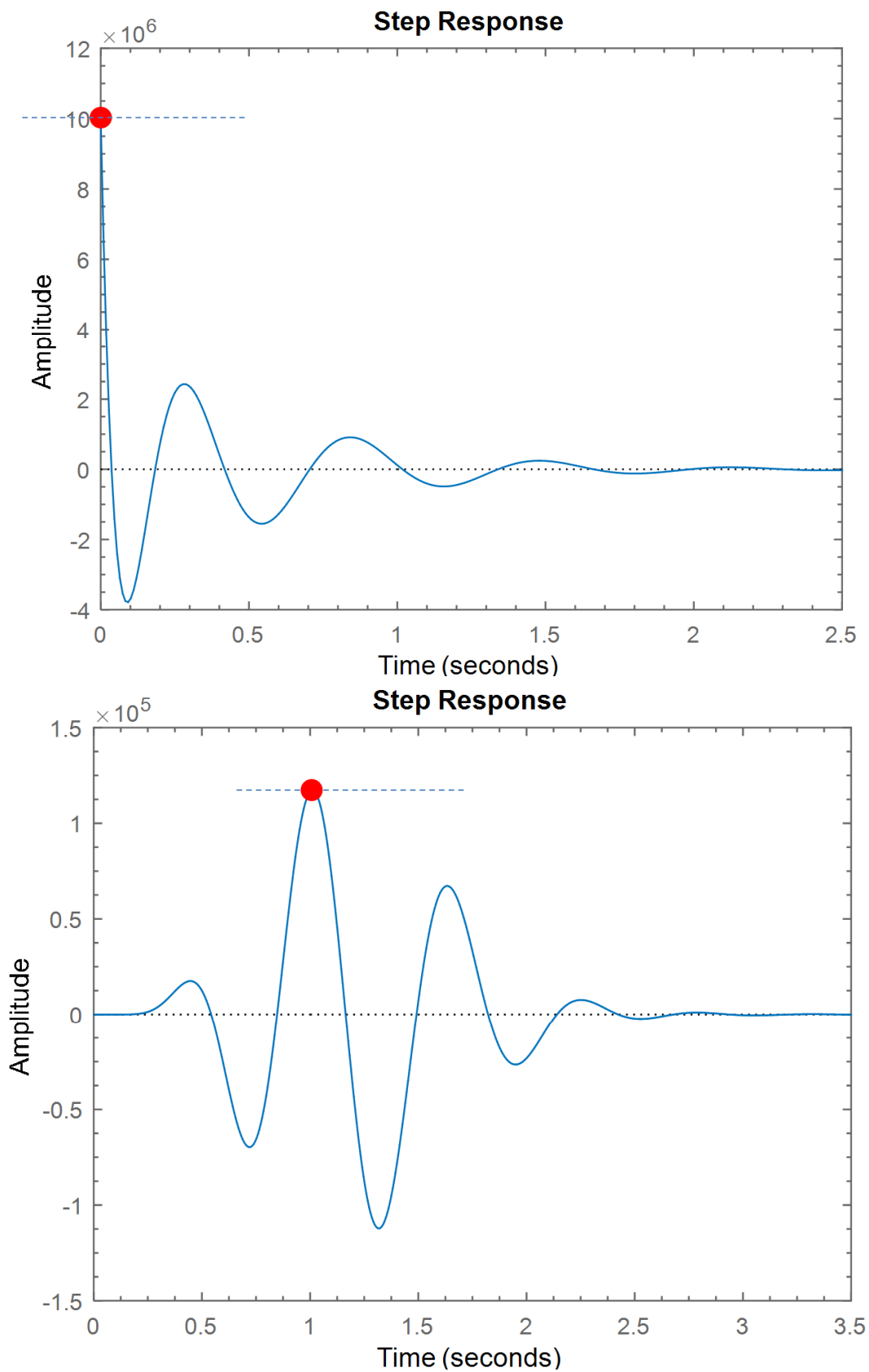


Рисунок 8 – ПХ $\tilde{h}(t)$, $\tilde{h}(t) \times h_2(t)$ и $h(t)$. Масштаб $M \ll 1$ очевиден

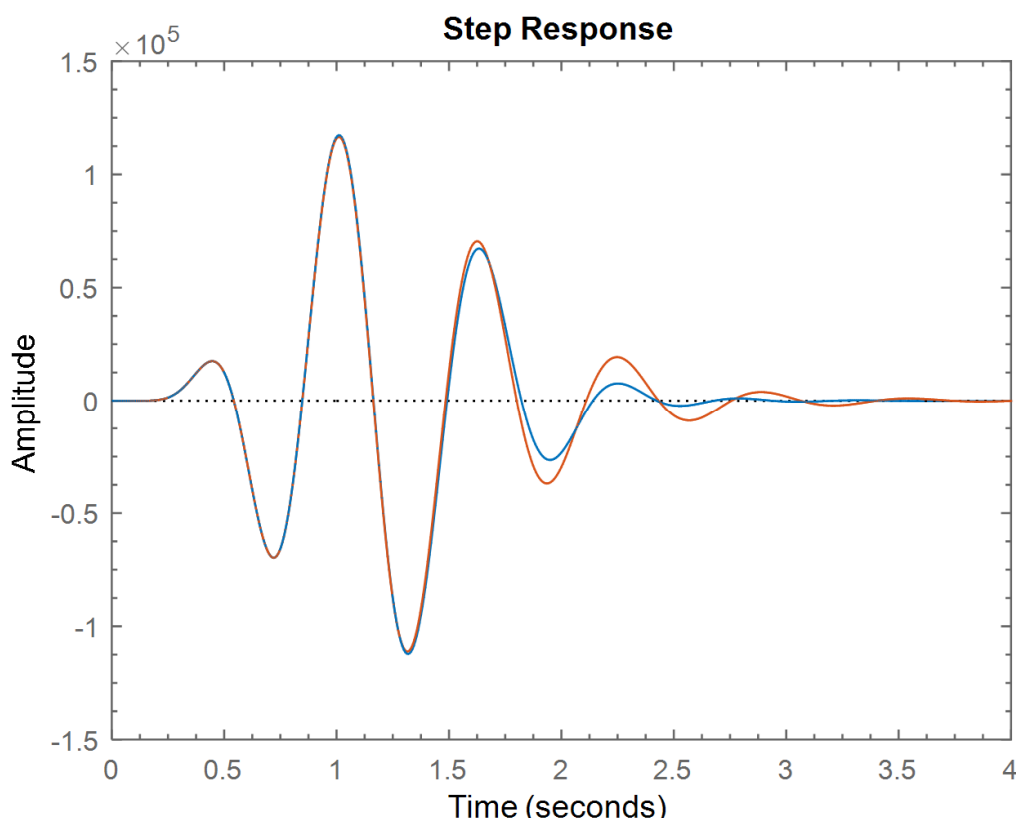


Рисунок 9 – О пренебрежении ненулевым остатком $R(p_{\Omega(\rho)}) / \tilde{B}(p_{\Omega(x)})$ при определении $G(p_{\Omega(r)})$

И эти механизмы в явном виде выписаны в $\tilde{h}(t)$. Уместно ограничить поиск $\max h(t)$ фактом масштабирования:

$$M \times \max \tilde{h}(t) \equiv M \times k_0 \frac{\alpha_m^*}{\tilde{\beta}_m^*} \left(R_{i(x)} / R_{i(0)} \right)^m, \text{ и}$$

$M = 10^{-k \times \lg \Omega^*} \ll 1$. Иное лишено смысла, учитывая беспрепятственный визуальный доступ к точке перегиба $h(t)$ численным моделированием любой итерации кратности $R_{i(x)} / R_{i(0)} = \text{var}$ динамической системы $A(p_{\Omega(0)}) / B(p_{\Omega(x)})$. Доказательство окончено.

Сингулярно возмущённые системы. В связи с интенсивным развитием приборостроения, авиации, космических исследований, химической промышленности и

других областей науки и техники возникла потребность в использовании сложных математических моделей, сочетающих в себе высокую размерность и вычислительную жесткость, что послужило толчком к значительному расширению исследований по теории сингулярно возмущенных дифференциальных систем, которые естественным образом возникают при моделировании и анализе объектов различной природы, способных одновременно совершать *быстрые и медленные движения*. Это может быть обусловлено наличием в системе малых или больших параметров, таких как массы, моменты инерции, коэффициенты упругости, постоянные времени, сопротивления, индуктивности и т.п. Сложную композицию медленных и быстрых движений представляет собой движение систем твердых тел.

В линейную динамическую систему $A(p)/B(p)$ с полиномами $A(p) = (R_{i(0)} : \alpha_{n-q}^* p^{n-q}, \alpha_{n-q-1}^* p^{n-q-1} \dots \alpha_0^*)$ и $B(p) = (R_{i(\times)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)$ инжектируем q -шт. форсирующих динамических звеньев $\prod_{j=1}^q (T_{\mu j} p + 1)$ первого порядка

$$\begin{aligned} |W_{x_n^* \rightarrow u_y}^*(p) &= \frac{A(p)}{B(p)} \prod_{j=1}^q (T_{\mu j} p + 1) = \tilde{A}(p) / B(p) = \\ &= \frac{\underbrace{(\alpha_{n-q} p^{n-q} + \alpha_{n-q-1} p^{n-q-1} + \dots + \alpha_{n-q-1} p^{n-q-i} + \dots + \alpha_1 p + 1)}_{A(p) = (R_{i(0)} : \alpha_{n-q}^* p^{n-q}, \alpha_{n-q-1}^* p^{n-q-1} \dots \alpha_0^*)} \times \prod_{j=1}^q (T_{\mu j} p + 1)}{\underbrace{\beta_n p^n + \beta_{n-1} p^{n-1} + \dots + \beta_{n-i} p^{n-i} + \dots + \beta_1 p + 1}_{B(p) = (R_{i(\times)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)}} \\ &= \frac{\tilde{A}(p) = (\tilde{R}_{i(0)} : \tilde{\alpha}_n^* p^n, \tilde{\alpha}_{n-1}^* p^{n-1} \dots \tilde{\alpha}_0^*)}{B(p) = (R_{i(\times)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)}. \end{aligned} \quad (13)$$

В силу теоремы о максимуме $h(t)$ для случая одинаковых степеней $m = n$ ПФ с медленными нулями $\tilde{R}_{i(0)} < R_{i(\times)}$ в нулевой квант времени $t \rightarrow 0+$ амплитуда ПХ $h(t)|_{t \rightarrow 0+} = k_0 \frac{\tilde{\alpha}_n^*}{\beta_n^*} \times R_{i(\times)}^n / \tilde{R}_{i(0)}^n$, оранжевая точка рис. 10. Но, вопреки ожиданиям, оранжевая точка не является точкой максимума $h(t)$ сингулярно возмущённых систем при $m = n$!

с различными в общем случае *малыми* постоянными времени $T_{\mu i}$, $\forall j = \overline{1, q}$. Тем самым уравняем степени полиномов числителя $\tilde{A}(p) = (\tilde{R}_{i(0)} : \tilde{\alpha}_n^* p^n, \tilde{\alpha}_{n-1}^* p^{n-1} \dots \tilde{\alpha}_0^*)$ и знаменателя $B(p)$ исследуемой ПФ.

Очевидным этот факт становится, если вспомнить о малости $T_{\mu i}$, $\forall j = \overline{1, q}$ в постановке задачи. q -кратное произведение $\prod_{j=1}^q (T_{\mu j} p + 1)$ малых величин – величины пренебрежимо малые. $(n-k)$ -я степень в $\tilde{A}(p) = (\tilde{R}_{i(0)} : \tilde{\alpha}_n^* p^n, \tilde{\alpha}_{n-1}^* p^{n-1} \dots \tilde{\alpha}_0^*)$, с которой невозможно его дальнейшее *редуцирование*, и есть полином $\hat{A}(p)$ числителя:

$$\begin{aligned} |W_{x_n^* \rightarrow u_y}^*(p) &= \frac{\underbrace{\tilde{\alpha}_n p^n + \cancel{\tilde{\alpha}_{n-1} p^{n-1}} + \dots + \tilde{\alpha}_{n-k} p^{n-k} + \tilde{\alpha}_{n-k-1} p^{n-k-1} + \dots + \tilde{\alpha}_1 p + 1}_{\hat{A}(p) = (\hat{R}_{i(0)} : \tilde{\alpha}_{n-k}^* p^{n-k}, \tilde{\alpha}_{n-k-1}^* p^{n-k-1} \dots \tilde{\alpha}_0^*)}}{\underbrace{\beta_n p^n + \beta_{n-1} p^{n-1} + \dots + \beta_{n-i} p^{n-i} + \dots + \beta_1 p + 1}_{B(p) = (R_{i(\times)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)}} \\ &= \frac{\hat{A}(p) = (\hat{R}_{i(0)} : \tilde{\alpha}_{n-k}^* p^{n-k}, \tilde{\alpha}_{n-k-1}^* p^{n-k-1} \dots \tilde{\alpha}_0^*)}{B(p) = (R_{i(\times)} : \beta_n^* p^n, \beta_{n-1}^* p^{n-1} \dots \beta_0^*)}, \end{aligned} \quad (14)$$

т.е. $(\hat{R}_{i(0)} : \tilde{\alpha}_{n-k}^* p^{n-k}, \tilde{\alpha}_{n-k-1}^* p^{n-k-1} \dots \tilde{\alpha}_0^*)$. $\hat{R}_{i(0)} < R_{i(\times)}$ ($M = 10^{-q \times \lg \Omega^*} \ll 1$, $q < k$)

Теперь в силу второй теоремы о максимуме $h(t)$ для случая неодинаковых степеней $m < n$ ПФ с медленными нулями

$\max h(t)|_{t>0} \cong M \times k_0 \frac{\tilde{\alpha}_{n-k}^*}{\beta_{n-k}^*} (R_{i(\times)} / \hat{R}_{i(0)})^{n-k}$, красная точка рис. 10.

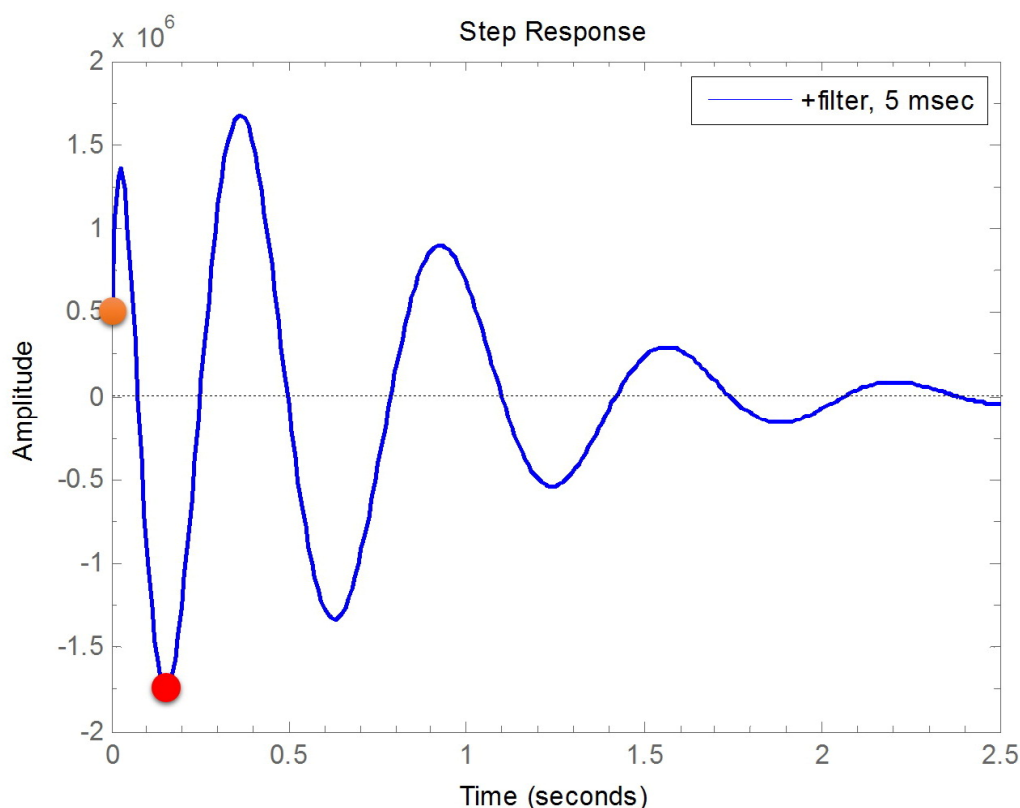


Рисунок 10 – ПХ $h(t)$ устойчивой нестационарной
сингулярно возмущённой динамической системы $A(p_{\Omega(0)})/B(p_{\Omega(\times)})$, $\forall m = n$

Критерием невозможности редуцирования ниже $(n-k)$ -й степени полинома $\tilde{A}(p) = (\tilde{R}_{i(0)} : \tilde{\alpha}_n^* p^n, \tilde{\alpha}_{n-1}^* p^{n-1} \dots \tilde{\alpha}_0^*)$
 $\rightarrow (\hat{R}_{i(0)} : \tilde{\alpha}_{n-k}^* p^{n-k}, \tilde{\alpha}_{n-k-1}^* p^{n-k-1} \dots \tilde{\alpha}_0^*)$ есть
 $\max_{\forall k=0, n} \left(R_{i(\times)} / \hat{R}_{i(0)_k} \right)^{n-k}$ на k -й итерации редуцирования $\hat{A}_k(p)$.

Особо отметим, что сингулярно возмущённая динамическая система любого порядка, образованная псевдо-умышленной накачкой, инжекцией q -шт. апериодических динамических звеньев $1 / \prod_{j=1}^q (T_{\mu j} p + 1)$ с малыми постоянными времени $T_{\mu i}$, $\forall j = \overline{1, q}$, в полином знаменателя $\tilde{B}(p)$, не редуцируема!

Выводы и направление дальнейших исследований. Впервые представлена аналитическая зависимость максимума переходной характеристики в управлении линейными динамическими системами произвольного порядка. Всплеск с лёгкостью может быть сгенерирован умышленно в любой ПФ с заранее заданными порядками полиномов числителя и знаменателя $m \leq n$, любой геометрии нулей и полюсов, их местоположении относительно мнимой оси, и, что особо примечательно, любой амплитуды. Генерация, как, впрочем, и зеркально противоположное – исключение всплеска, сводятся к примитиву смещения радиусов геометрических средних $R_{i(\times)} \rightarrow shift$ и/или $R_{i(0)} \rightarrow shift$ корней полиномов числителя и знаменателя генерирующей передаточной функции.

Библиографический список

1. Фельдбаум А.А. О распределении корней характеристического уравнения систем регулирования / А.А. Фельдбаум. - *АуТ*. — 1948. — № 4. — С. 253–279.
2. Полоцкий В.Н. О максимальных ошибках асимптотического идентификатора состояния / В.Н. Полоцкий. - *АуТ*. — 1978. — № 8. — С. 26–32.
3. Полоцкий В.Н. Оценки состояния линейных систем с одним выходом при помощи наблюдающих устройств / В.Н. Полоцкий. - *АуТ*. — 1980. — № 12. — С. 18–29.
4. Измайлов Р.Н. Эффект “всплеска” в стационарных линейных системах со скалярными входами и выходами / Р.Н. Измайлов. - *АуТ*. — 1987. — № 8. — С. 56–62.
5. Sussmann H. J. The peaking phenomenon and the global stabilization of nonlinear systems / H.J. Sussmann, P.V. Kokotovic // *IEEE Transactions on Automatic Control*. — 1991. — Vol. 36; № 4. — P. 424–439.
6. Bushenkov V. Stabilization Problems with Constraints: Analysis and Computational Aspects / V. Bushenkov, G. Smirnov. — Amsterdam: Gordon and Breach, 1997.
7. Smirnov G. Advances on the transient growth quantification in linear control systems / G. Smirnov, V. Bushenkov, F. Miranda // *International Journal of Applied Mathematics and Statistics*. — 2009. — Vol. 14. — P. 82–92.
8. Polyak B.T. Large deviations in continuous-time linear single-input control systems / B.T. Polyak, G.V. Smirnov // *19th IFAC World Congress*. — Cape Town, South Africa, August 24–29, 2014.
9. Вундер Н.А. Исследование особенностей траекторий свободного движения непрерывной системы в форме последовательной цепочки однотипных апериодических звеньев / Н.А. Вундер, О.С. Нуйя, Р.О. Пещеров, А.В. Ушаков // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. — 2016. — Т. 16; № 1(101). — С. 68–75.
10. Полилов Е.В. Маркеры устойчивости линейных динамических систем: текст / Е.В. Полилов // *М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. авт. образоват. учреждение высш. проф. образования С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. ; Завалишинские чтения'16 : сборник докладов 18-22 апреля 2016 г.* — Санкт-Петербург : ГУАП, 2016.
11. Полилов Е.В. О границах достижимости теории автоматического управления / Е. В. Полилов // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. — Х. : НТУ «ХПІ». — 2015. — № 12(1121). — С. 72–82.
12. Полилов Е.В. Исследование явления всплеска в линейных динамических системах, управляемых по состоянию / Е.В. Полилов, А.И. Мотченко, Д.А. Мироненко, М.Д. Мотченко // *Сборник научных трудов студентов Донбасского государственного технического университета*. — Алчевск : ДонГТУ, 2015. — Вып. 8, часть I. — С. 44–49.
13. Полилов Е.В. Феномен всплеска в управлении динамическими системами / Е.В. Полилов // *Электротехнические и компьютерные системы*. — К. : Техника. — 2014. — № 15 (91). — С. 25–35.
14. Полилов Е.В. Стратегии качественного управления многомассовыми электромеханическими системами / Е.В. Полилов, В.И. Бугаев, А.А. Медеяев и др. // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. — Х. : НТУ «ХПІ». — 2013. — № 36 (1009). — С. 86–96.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. ДонГТУ Мотченко А.И.,
главным энергетиком ПАО «АМК» Диковичем Ю.А.**

Статья поступила в редакцию 24.05.16.

к.т.н. Полілов Є.В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ОЦІНКА МЕЖ ВЕЛИКИХ УХИЛЕНЬ ФАЗОВИХ ЗМІННИХ В ЛІНІЙНИХ СИСТЕМАХ

Вперше представлено аналітичну залежність максимуму перехідної характеристики в управлінні лінійними динамічними системами довільного порядку. Розглянуто випадки $m=n$, $m < n$ однотемпових і сингулярно збурених систем. Отримано умови виникнення т.з. феномену сплеску і неконтрольованого зростання фазових змінних.

Ключові слова: *характеристичний поліном, нестационарне алгебраїчне рівняння, корені алгебраїчного рівняння, феномен сплеску.*

PhD Polilov E.V. (*DonSTU, Alchevsk, LPR*)

ASSESSMENT OF BORDERS FOR LARGE DEVIATIONS OF PHASE VARIABLES IN LINEAR SYSTEMS

World's first analytical dependence is presented of the maximum transient response in operating for linear dynamic systems of arbitrary order. The cases $m=n$, $m<n$ of one-rate and singularly perturbed systems were considered. The so-called splash phenomena conditions and uncontrolled growth phase variables were obtained.

Key words: *characteristic polynomial, unsteady algebraic equation, roots of an algebraic equation, splash phenomenon.*

УДК 62-83

к.т.н. Щелоков А.Г.,
к.т.н. Карпук И.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНОЙ СВЯЗИ В РЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СО СКОЛЬЗЯЩИМИ РЕЖИМАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ФРИКЦИОННОЙ НАГРУЗКИ

В данной статье рассмотрен вопрос уменьшения статической ошибки в релейных системах управления. Показано, что уменьшение статической ошибки возможно путем применения нелинейной пропорционально-интегральной связи. Представлены результаты компьютерного моделирования и основные расчетные зависимости.

Ключевые слова: фрикционные автоколебания, релейная система управления, нелинейная пропорционально-интегральная связь.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Во многих отраслях промышленности существуют машины и механизмы, механическая характеристика фрикционной нагрузки которых содержит падающий участок. К таким механизмам относятся валки прокатных станов, колесно-рельсовый транспорт, металлообрабатывающие станки и др. Известно, что при попадании рабочей точки электропривода (ЭП) на этот участок при определенном соотношении параметров электромеханической системы могут возникнуть т. н. фрикционные автоколебания (ФА), которые приводят к негативным последствиям: ускоренному износу и аварийным разрушениям кинематических звеньев механизмов, ухудшению качества технологического процесса, снижению КПД и пр. [1]. В [2-4] показана возможность ликвидации ФА путем применения релейных систем управления (РСУ), работающих в скользящем режиме. Данные РСУ обеспечивают полное подавление ФА, квазиинвариантность к изменению параметров объекта управления, высокое качество переходных процессов. Однако РСУ присущи и некоторые недостатки, например, наличие статической ошибки (иногда весьма существенной) для систем, синтезированных в фазовом пространстве естественных координат (например, ско-

рость и ток двигателя, ЭДС преобразователя).

Постановка задачи. Уменьшение статической ошибки в релейных системах управления, работающих с фрикционной нагрузкой путем использования дополнительной нелинейной пропорционально-интегральной связи в релейных алгоритмах управления.

Изложение материала и его результаты. Известно [5], что введение интеграла от ошибки регулирования позволяет получить РСУ в общем случае с астатизмом первого порядка по заданию и возмущению, а для объектов, имеющих собственные нулевые корни характеристического уравнения, – повысить на единицу порядок астатизма. В этом случае для одностепенного ЭП постоянного тока закон управления РСУ в относительных единицах имеет вид [4]:

$$U = -\text{sign}(\Theta_H + K\eta), \quad (1)$$

где: Θ_H – величина нелинейной интегральной связи (НИ-связи); K – вектор-строка коэффициентов обратных связей; $\eta = X - X^*$ – вектор ошибок координат состояния системы; X – вектор исходных координат состояния системы; X^* – вектор заданных траекторий.

Согласно [5], величина Θ_H определяется следующим образом:

$$\Theta_{II} = \begin{cases} \frac{k_{II}}{p} \eta_1, & \text{при } |\eta_1| < |\eta_{1M\Sigma}^{уст}|, |\Theta_{II}| < |\Theta_{IM}|; \\ \frac{k_{II}}{p} \eta_{1M\Sigma}^{уст}, & \text{при } |\eta_1| \geq |\eta_{1M\Sigma}^{уст}|, |\Theta_{II}| < |\Theta_{IM}|; \\ \pm \Theta_{IM}, & \text{при } |\Theta_{II}| \geq |\Theta_{IM}|, \end{cases} \quad (2)$$

где: k_{II} – коэффициент усиления интегральной связи; Θ_{IM} – предельное значение выходной величины интегральной связи; η_1 – ошибка по главной регулируемой координате (в данном случае это скорость двигателя); $\eta_{1M\Sigma}^{уст}$ – максимально возможная ошибка регулирования в установившемся режиме.

Однако, как показано в [4], использование НИ-связи вида (2) в РСУ для электро-механических объектов с фрикционной нагрузкой может привести к возникновению автоколебательных режимов. Также ухудшение качества переходных процессов возможно и при постоянной статической нагрузке ввиду нестационарности ве-

личины $\Theta_{II}^{треб}$ – требуемого значения сигнала на выходе НИ-связи.

Для ликвидации этих недостатков в [4] вместо НИ-связи предложено использование нелинейной пропорционально-интегральной связи (НПИ-связи):

$$\Theta_{III} = \begin{cases} \frac{k_{II}}{p} \eta_1 + k_{II} \eta_1, & \text{при } |\eta_1| < |\eta_{1M\Sigma}^{уст}|, |\Theta_{III}| < |\Theta_{IM}|; \\ \frac{k_{II}}{p} \eta_{1M\Sigma}^{уст}, & \text{при } |\eta_1| \geq |\eta_{1M\Sigma}^{уст}|, |\Theta_{III}| < |\Theta_{IM}|; \\ \pm \Theta_{IM}, & \text{при } |\Theta_{III}| \geq |\Theta_{IM}|, \end{cases} \quad (3)$$

где k_{II} – коэффициент усиления пропорциональной части.

Применение РСУ с НПИ-связью вида (3) позволяет ликвидировать ФА, обеспечить астатизм первого порядка по заданию и возмущению, получить высокое качество переходных процессов и добиться малой чувствительности к параметрическим и координатным воздействиям. Однако при задающих воздействиях, характеризующихся достаточно большой начальной ошибкой регулирования $|\eta_1| \leq |\eta_{1M\Sigma}^{уст}|$, подключение выходного сигнала пропорциональной части $\Theta_{II} = k_{II} \eta_1$ в начальный мо-

мент времени может привести к ухудшению переходных процессов. Аналогичная ситуация может возникнуть при скачкообразном изменении задающих или возмущающих воздействий. Поэтому представляет интерес дальнейшее усовершенствование НПИ-связи в РСУ с целью получения высоких статических и динамических показателей качества при различных задающих и возмущающих воздействиях.

Решение поставленной задачи представляется возможным путем применения НПИ-связи следующего вида:

$$\Theta_{ПИ} = \begin{cases} \frac{k_{II}}{p} \eta_1 + \left(1 - \left|\frac{\eta_1}{\eta_{1П}}\right|\right) k_{II} \eta_1, & \text{при } |\eta_1| < |\eta_{1П}|, |\Theta_{ПИ}| < |\Theta_{ИМ}|; \\ \frac{k_{II}}{p} \eta_1, & \text{при } |\eta_{1П}| \leq |\eta_1| \leq |\eta_{1М\Sigma}^{уст}|, |\Theta_{ПИ}| < |\Theta_{ИМ}|; \\ \frac{k_{II}}{p} \eta_{1М\Sigma}^{уст}, & \text{при } |\eta_1| \geq |\eta_{1М\Sigma}^{уст}|, |\Theta_{ПИ}| < |\Theta_{ИМ}|; \\ \pm \Theta_{ИМ}, & \text{при } |\Theta_{ПИ}| \geq |\Theta_{ИМ}|. \end{cases} \quad (4)$$

Структурная схема НПИ-связи вида (4) представлена на рисунке 1.

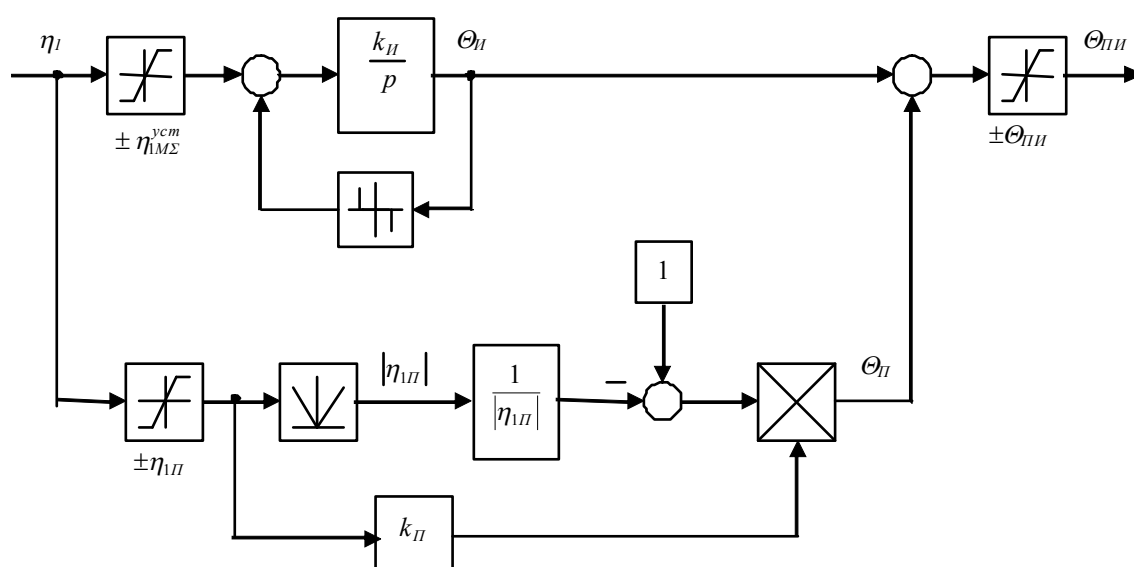


Рисунок 1 – Структурная схема нелинейной пропорционально-интегральной связи вида (4)

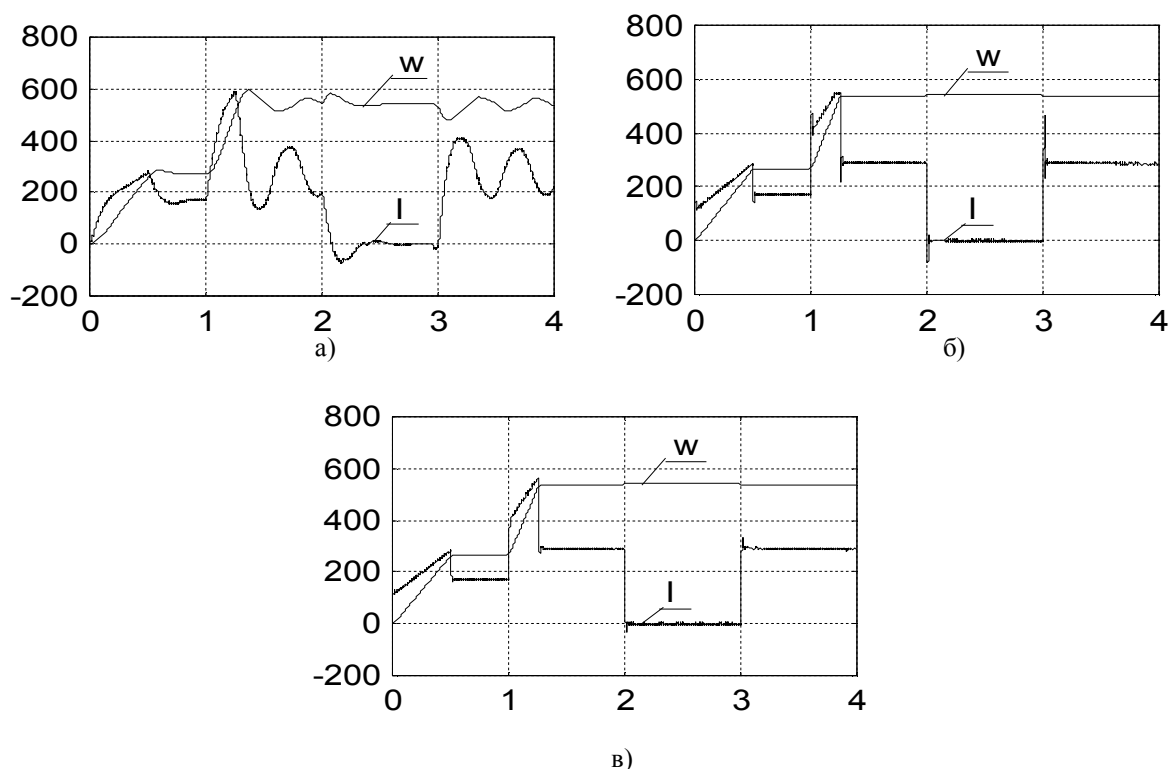
Рассмотрим работу РСУ с данной НПИ-связью. Как видно из (4), подключение выходного сигнала пропорциональной части (П-части) Θ_{II} происходит при достижении ошибки регулирования значения $\pm\eta_{1П}$. Величину $\eta_{1П}$ целесообразно принимать в пределах 10-15 % от максимально возможной ошибки регулирования в установившемся режиме.

В случае недостаточного темпа нарастания выходного сигнала НПИ-связи $\Theta_{ПИ} = \Theta_{II}$ подключение П-части вызывает его увеличение ($\Theta_{ПИ} = \Theta_{II} + \Theta_{II}$), что является при-

чиной более интенсивного снижения ошибки регулирования η_1 . Это позволяет получить на момент окончания времени пуска требуемую величину выходного сигнала НПИ-связи $\Theta_{ПИ} = \Theta_{II}^{треб} (\Theta_{II} = 0)$.

В случае избыточного сигнала $\Theta_{ПИ}$ в момент окончания времени пуска подключение П-части вызывает быстрое снижение величины $\Theta_{ПИ}$ до требуемого значения $\Theta_{II}^{треб}$.

Наличие варьируемого множителя $\left(1 - \left|\frac{\eta_1}{\eta_{1П}}\right|\right)$ позволяет осуществить плавное



ω – скорость двигателя, с^{-1} ; I – ток двигателя, А
 Рисунок 2 – Графики переходных процессов для тока и скорости двигателя при пуске с фрикционной нагрузкой РСУ одномассового ЭП при наличии:
 а) НИ-связи вида (2); б) НПИ-связи вида (3); в) НПИ-связи вида (4)

подключение П-части, благодаря чему удастся избежать больших пиков тока. Коэффициент усиления П-части НПИ-связи k_{II} следует принимать максимальным из условия существования в РСУ устойчивого скользящего режима при наиболее неблагоприятных изменениях параметров ЭП. Выбор k_{II} – согласно [5].

Для анализа работоспособности РСУ с НПИ-связью вида (4), применительно к одномассовому ЭП с фрикционной нагрузкой, было произведено компьютерное моделирование в среде MATLAB / Simulink следующего рабочего цикла: пуск под нагрузкой – увеличение задания на скорость до номинального значения – сброс нагрузки – наброс нагрузки. Резуль-

таты моделирования представлены на рисунке 2. Таким образом, использование нелинейной пропорционально-интегральной связи вида (4) позволяет улучшить качество переходных процессов. При этом не нарушаются принципы построения релейных систем управления с дополнительной интегральной связью, т. к. структура и параметры интегральной части абсолютно не меняются, а подключение пропорциональной части фактически представляет собой незначительную автоматическую коррекцию коэффициента обратной связи при η_1 в алгоритме управления (1) в определенные моменты времени.

Библіографічний список

1. Клепиков В.Б. О «фрикционных» автоколебаниях в электроприводах / В.Б. Клепиков. — Электричество, 1986. — № 4. — С. 59–62.
2. Мотченко А.И. Выбор оптимальных параметров релейной системы управления электропривода при наличии фрикционной нагрузки / А.И. Мотченко, А.Г. Щёлоков // Вестник МАНЭБ. — Алчевск, 2001. — Вып. 1/2001 (37). — С. 68–70.
3. Мотченко А.И. Подавление фрикционных автоколебаний в двухмассовых электромеханических системах / А.И. Мотченко, А.Г. Щёлоков, Е.В. Полилов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. — Кременчук : КДПУ, 2004. — Вип. 3/2004 (26). — С. 21–22.
4. Щёлоков А.Г. Синтез релейных систем управления электроприводов постоянного тока с отрицательным вязким трением в нагрузке: дисс. ... канд. техн. наук.: 05.09.03 / А.Г. Щёлоков. — Харьков, 2002. — 243 с.
5. Яблонь В.П. Синтез релейных систем следящего электропривода повышенной точности с низкой чувствительностью к параметрическим и координатным возмущениям: дисс. ... канд. техн. наук.: 05.09.03 / В.П. Яблонь. — Донецк : Донецкий гос. тех. унив-т, 1999. — 220 с.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. ДонГТУ Комаревцевой Л.Н.,
главным энергетиком ПАО «АМК» Диковичем Ю.А.*

Статья поступила в редакцию 23.05.16.

к.т.н. Щолоков О.Г., к.т.н. Карпук І.А. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ВИКОРИСТАННЯ НЕЛІНІЙНОГО ПРОПОРЦІЙНО-ІНТЕГРАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ В РЕЛЕЙНИХ СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ З КОВЗАЮЧИМИ РЕЖИМАМИ ЗА НАЯВНОСТІ ФРИКЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

В даній статті розглянуто питання зменшення статичної помилки в релейних системах керування. Показано, що зменшення статичної помилки можливо шляхом застосування нелінійного пропорційно-інтегрального зв'язку. Подані результати комп'ютерного моделювання і основні розрахункові залежності.

Ключові слова: фрикційні автоколивання, релейна система керування, нелінійний пропорційно-інтегральний зв'язок.

PhD Shchiolokov A.G., PhD Karpuk I.A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

USING A NON-LINEAR PROPORTIONAL-INTEGRAL FEEDBACK IN RELAY CONTROL SYSTEMS WITH SLIDING MODES AT CONTINUOUS FRICTION LOAD

This paper studies the problem of reducing the static error in the relay control systems. A decrease in the static errors is possible by applying a nonlinear proportional-integral feedback is showed. The results of computer simulation and the basic calculation dependences are given.

Key words: friction self-oscillation, relay control system, nonlinear proportional-integral feedback.

УДК 535.374:621.314.6

Юрьев С.А.,
Парфений В.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА С ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ НАКАЧКОЙ

Показано преимущество накачки активных элементов твердотельных лазеров лазерными диодами перед традиционными лампами накачки. Представлена необходимость обеспечения неизменных параметров тока для стабильной работы лазерного диода. Предложен стабилизатор тока в качестве одного из элементов источника питания твердотельного лазера, использующего как элемент накачки лазерный диод, а так же рассмотрены параметры его работы.

Ключевые слова: твердотельный лазер, полупроводниковая накачка, DPSS лазер, стабилизатор тока, источник питания.

Введение. Разработка твердотельных лазеров, которые используют в качестве источника оптической накачки мощные лазерные диоды и линейки (так называемая «полупроводниковая накачка»), – одна из наиболее важных областей науки и техники. Эта область переживает в последнее время особенно бурный рост, поскольку твердотельные лазеры с «полупроводниковой накачкой» (DPSS лазеры) совмещают в себе достоинства как полупроводниковых (высокую эффективность и малые габариты), так и твердотельных (высокое качество излучения) лазеров.

Преобразование оптической накачки в генерируемое излучение в твердотельных лазерах сопровождается потерями значительной части энергии накачки на тепловыделение в элементах системы. Температурные градиенты в активной среде и её деформации приводят к неоднородности в пространственном распределении показателя преломления активного элемента, вызывают увеличение расхождения генерируемого излучения выше дифракционной границы и ограничивают возможности получения высокоинтенсивных сфальцованных пучков. Важное улучшение пространственно-энергетических характеристик исходного излучения твердотельного лазера достигается при использовании тонких (дисковых) активных элементов, охлаждаемых со стороны оснований. В этом случае

термоупругие эффекты в активных элементах не приводят к абберациям волнового фронта, поскольку резонаторные лучи, которые пересекают активный элемент, подвергаются одинаковым термоиндуцированным изменениям оптического пути.

Преимущества дисковых активных элементов особенно заметны при их накачке полупроводниковыми лазерами. Спектр излучения некоторых из разработанных к настоящему времени полупроводниковых лазеров практически оптимально согласован со спектром поглощения активаторов твердотельного лазера. При этом тепловыделение в активном элементе определяется в основном стоксовыми потерями и близко к физически минимальному. Кроме того, полупроводниковые лазеры имеют высокие КПД (50–90%), миниатюрны, что разрешает формировать из них высокомошные матрицы, а также могут работать в импульсном и непрерывном режимах. КПД твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой достигает нескольких десятков процентов, которые существенным образом выше, чем в твердотельных лазерах с ламповой накачкой.

Постановка задачи. Одной из проблем создания твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой является обеспечение стабилизированных параметров тока и входного импульса для полупроводни-

кового лазера. К источнику питания лазера предъявляется ряд серьезных требований. Во-первых, должен быть обеспечен плавный подъем тока при включении блока питания и исключены заметные токи в процессе работы лазера. Во-вторых, должно быть обеспечено плавное регулирование тока в рабочем диапазоне, который исключает случайный выход тока за границы рабочего диапазона. Поэтому создание источников питания для полупроводниковых лазеров, использующихся для накачки твердотельных лазеров, является актуальной задачей.

Результаты. При работе DPSS лазеров происходит нагрев полупроводникового лазера, что приводит к изменению параметров выходного излучения и, как следствие, рассогласование со спектром поглощения активаторов твердотельного лазера, что обуславливает возрастание энергетических потерь при накачке. Поэтому при создании источников питания необходимо особое внимание уделять стабилизации тока питания лазерного диода.

В качестве одного из элементов источника питания DPSS лазеров предложен стабилизатор тока для питания лазерного диода, схема исходного каскада которого приведена на рисунке 1.

Выходной каскад стабилизатора тока состоит из однокаскадного усилителя на транзисторе с супер β , в цепи базы которого включен стабилитрон, состоящий из двух светодиодов.

Электрические параметры лазерных диодов практически не отличаются от параметров светодиодов. С помощью светодиодов VD1 и VD2 подается стабильный сдвиг в цепь базы транзистора КТ837Ф. Светодиоды, по сравнению со стабилитронами, имеют лучшую термостабилизацию. В этом случае происходит прямое включение светодиодов, заодно они являются индикаторами работы стабилизатора тока. При этом на эмиттерном резисторе R_4 есть напряжение

$$U_{эмит} = U_{R_1} - U_{R_3} - U_{БЭ} \quad (1)$$

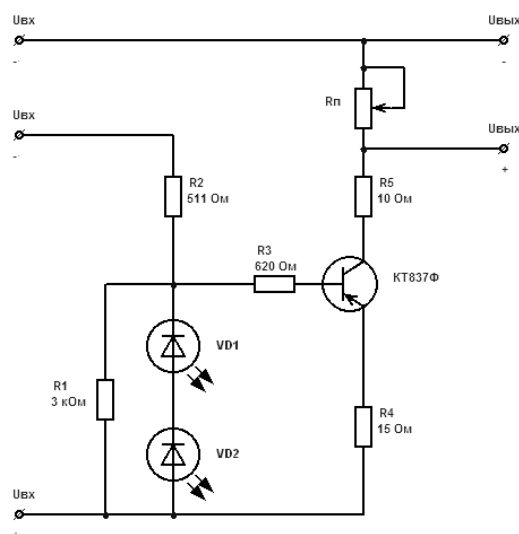


Рисунок 1 – Выходной каскад стабилизатора тока

Через нагрузку $R_{п}$, что является эквивалентом лазерного диода, протекает коллекторный ток в транзисторе. Под влиянием температуры сопротивление лазерного диода может изменяться, однако ток, который протекает через этот резистор, не должен изменяться. При изменении сопротивления $R_{п}$, например уменьшении, коллекторный ток должен возрастать. Однако падение напряжения на резисторе R_4 тоже возрастает. Транзистор начинает запирается, и значение коллекторного тока начинает восстанавливаться. В этом заключается принцип поддержки неизменного тока в лазерный диод выходного каскада стабилизатора.

Для подтверждения работоспособности предложенного стабилизатора тока был проведен ряд исследований по схеме, представленной на рисунке 2.

При изменении сопротивления переменного резистора (эквивалента лазерного диода) разработанная схема выходного каскада стабилизатора тока на выходе держала ток неизменным.

Также одним из исследований было выявление зависимости амплитудного значения напряжения импульсного сигнала от переменного сопротивления лазерного диода (в данном случае диод был заменен на его эквивалент – $R_{п}$).

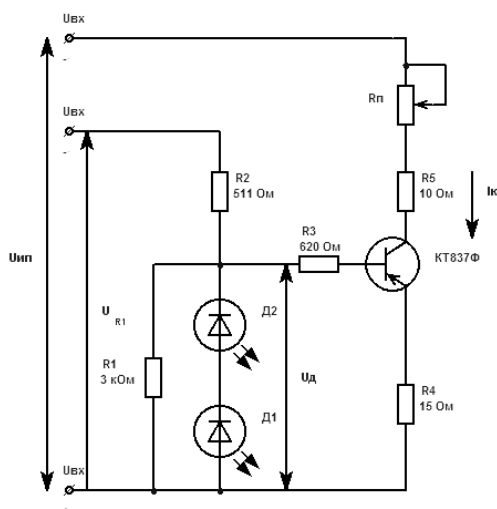


Рисунок 2 – Экспериментальная схема выходного каскада стабилизатора тока

Таблица 1 – Зависимость тока входной цепи от изменения сопротивления

$R_{П}, \text{Ом}$	$I_R, \text{мА}$
5,6	230
6	230
6,6	230
7	230
7,5	230
8	230
9,5	230

Дополнительно было определено поведение амплитудного значения напряжения импульсного сигнала при изменении входного напряжения стабилизатора напряжения выходного каскада (рисунок 4).

Таким образом, последнее исследование показало, что на выходной каскад стабилизатора тока необходимо подавать стабилизированное напряжение.

Для того чтобы выяснить возможности стабилизировать ток в импульсном режиме, было прослежено изменение импульсного сигнала от генератора импульсов на выходе выходного каскада стабилизатора тока.

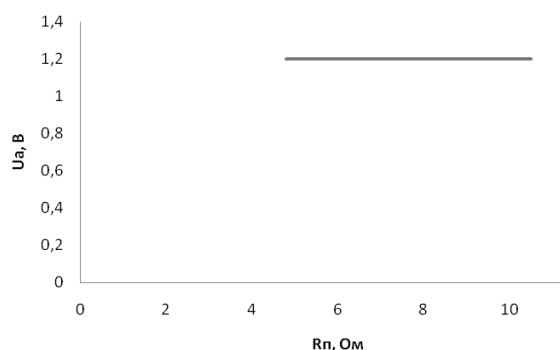


Рисунок 3 – Зависимость амплитудного значения напряжения импульсного сигнала от $R_{П}$

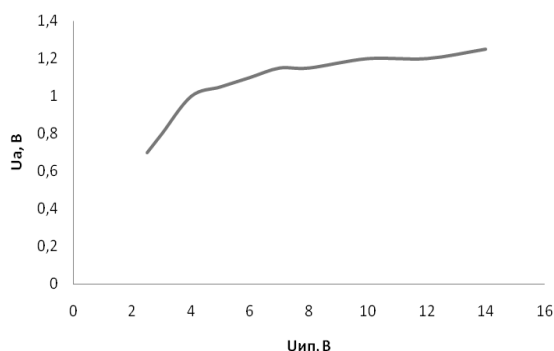


Рисунок 4 – Зависимость амплитудного значения напряжения импульсного сигнала от изменения входного напряжения стабилизатора напряжения выходного каскада

На вход цепи (рис. 5) подавался сигнал с амплитудой 3 В и длиной 10 мкс (рис. 6).

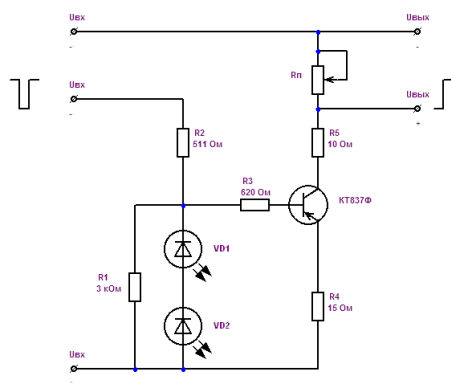


Рисунок 5 – Экспериментальная схема выходного каскада стабилизатора тока

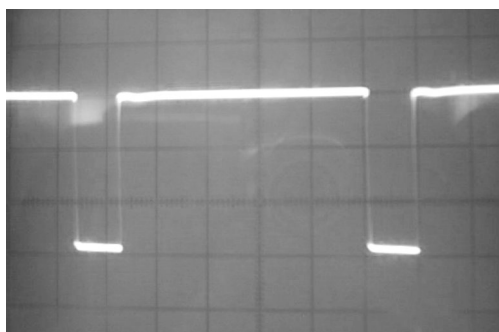


Рисунок 6 – Форма импульса, подаваемого на вход стабилизатора тока

На выходе каскада стабилизатора тока были получены импульсы с амплитудой 1,2 В и длиной 10 мкс и 20 мкс (рис. 7).

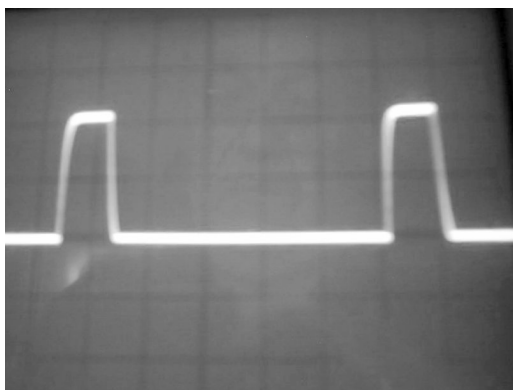


Рисунок 7 – Форма импульса на выходе каскада стабилизатора тока (длина импульса 10 мкс)

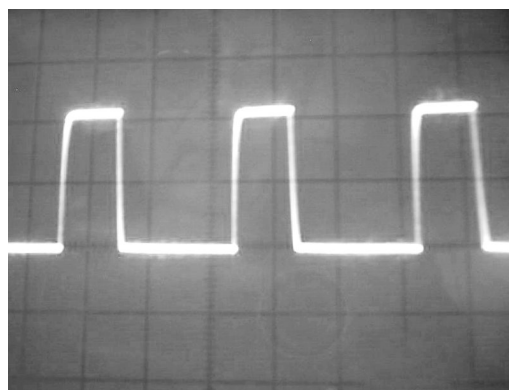


Рисунок 8 – Форма импульса на выходе каскада стабилизатора тока (длина импульса 20 мкс)

Вывод. Из представленных результатов видно, что предложенный стабилизатор тока, как один из основных элементов источника питания DPSS лазеров, способен поддерживать ток на лазерном диоде даже при небольших изменениях его сопротивления, причём как в постоянном, так и в импульсном режиме работы.

Однако, как видно из полученных результатов, в дальнейшем необходимо дополнительно рассмотреть вопрос о стабилизации напряжения выходного каскада стабилизатора тока, а также дополнительных узлов (контроль температуры и охлаждение лазерного диода) источника питания DPSS лазеров.

Библиографический список

1. Чижиков В.И. Твердотельные лазеры с диодной накачкой / В.И. Чижиков. — Соросовский обзорный журнал, 2001. — Т. 7. — № 8.
2. Капцов Н.А. Электроника / Н.А. Капцов. — Г. : Гостехиздат, 1953. — 183 с.
3. Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл. — 5-е изд., перераб. и доп. — Г. : Мир, 1998. — 702 с.
4. Полупроводниковые приборы. Транзисторы П53 : справочник / В.Л. Аронов, А.В. Баюнов, А.А. Зайцев и др. ; под ред. Н.Н. Горюнова. — М. : Энергоатомиздат, 1983. — 904 с., ил.
5. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: справочник / В.Л. Шило. — Челябинск : Металлургия, Челябинское отделение, 1988. — 352 с., ил.
6. Волков И.В. Источники электропитания лазеров / И.В. Волков, В.М. Вакуленко. — М. : «Техника», 1976. — 176 с.
7. Кугушев А.М. Основы радиоэлектроники / А.М. Кугушев, Н.С. Голубева. — Г. : Энергия, 1969. — 880 с.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. Дон ГТУ Мургой В.В.,
к. ф.-м. н., м.н.с. Факультета радиофизики, электроники
и компьютерных систем КНУ им Т. Шевченко Лебедь А.В.*

Статья поступила в редакцию 11.05.16.

Юр'єв С.О., Парфеній В.І. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ІМПУЛЬСНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ТВЕРДОТІЛЬНОГО ЛАЗЕРА З НАПІВПРОВІДНИКОВИМ НАКАЧУВАННЯМ

Показано перевагу накачування активних елементів твердотільних лазерів лазерними діодами перед традиційними лампами накачування. Представлена необхідність забезпечення незмінних параметрів струму для стабільної роботи лазерного діода. Запропоновано стабілізатор струму в якості одного з елементів джерела живлення твердотільного лазера, що використовує як елемент накачування лазерний діод, а також розглянуті параметри його роботи.

Ключові слова: *твердотільний лазер, напівпровідникове накачування, DPSS лазер, стабілізатор струму, джерело живлення.*

Yuriiev S.A., Parfenii V.I. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

SWITCHING POWER SUPPLY FOR SOLID-STATE LASERS WITH SEMICONDUCTOR PUMPING

The advantage of pumping the active elements of the solid-state lasers by laser diodes unlike the traditional lamps is proved. Necessity to ensure constant current parameters for the stable operation of the laser diode is presented. A current regulator is proposed as a power source element of solid state laser that uses a laser diode as a pumping element, and there were studied the parameters of its operation.

Key words: *solid-state lasers, semiconductor pumping, DPSS laser, current stabilizer, source of power supply.*

МЕХАНИКА

УДК 622.647.1

д.т.н. Корнеев С.В.,
Доброногова В.Ю.,
Долгих В.П.,
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО НАТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА ЗАБОЙНОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА ПРИ СТОПОРЕНИИ ТЯГОВОГО ОРГАНА

Приведены результаты экспериментальных стендовых исследований защитных функций гидравлического натяжного устройства с телескопическим реиштакм забойного скребкового конвейера с гидродинамическим приводом при заклинивании тягового органа. Установлена эффективность защиты от экстренных перегрузок в сочетании с отключением приводного электродвигателя.

Ключевые слова: эксперимент, стенд, скребковый конвейер, гидравлическое натяжное устройство, заклинивание, перегрузки, оперативная защита, эффективность.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Одним из приоритетных направлений повышения нагрузок на очистной забой является создание надежного забойного оборудования и, прежде всего, забойных скребковых конвейеров, основным видом отказов которых являются порывы тягового органа (ТО) при его заклинивании, а в конвейерах с гидродинамическим приводом – также срабатывания гидромурфт (неполомочный отказ).

Профессор Сигалов Л. Н. [1] теоретически обосновал возможность защиты скребковых конвейеров от экстренных перегрузок, возникающих при заклинивании ТО, посредством гидравлических натяжных устройств (ГНУ) с узлом раздвижности, которые до настоящего времени применяются в основном только для монтажного натяжения ТО.

В работе [2] подтверждены выводы проф. Л. Н. Сигалова о снижении максимальных нагрузок в случае применения ГНУ до 13%, а также обосновывается эффективность системы оперативной защиты, в которой аварийное отключение приводных электродвигателей (ЭД) сочетается с работой ГНУ, ограничивающего нагрузки на заданном уровне.

Теоретически доказана способность ГНУ снизить до приемлемых значений

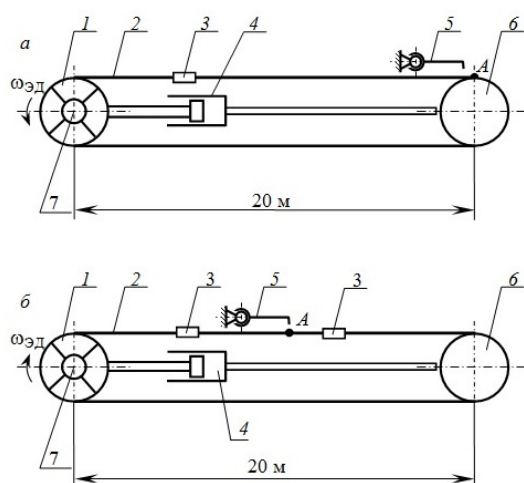
уровень нагрузок при обратном ударе, возникающем при заклинивании ТО на сбегавшей ветви вблизи привода и защитном отключении двигателей или срабатывании гидромурфты [3].

Вместе с тем отсутствует какое-либо экспериментальное подтверждение работоспособности и эффективности ГНУ, наделенных защитными функциями.

Постановка задачи. Задачей экспериментальных исследований является подтверждение эффективности многофункционального ГНУ в качестве компоненты системы оперативной защиты скребкового конвейера с гидродинамическим приводом от экстренных перегрузок.

Изложение материала и его результаты. Эффективность ГНУ оценивается в результате сопоставления нагрузок, возникающих в ТО конвейера, работающего с ГНУ, а также в ТО того же конвейера без ГНУ и без отключения ЭД.

Для проведения эксперимента оборудована стендовая установка, схема которой приведена на рисунке 1. Установка создана на базе конвейера СП63 и включает приводную станцию 1, тяговый орган 2, тензозвено 3, ГНУ 4, хвостовую станцию 6, датчик измерения скорости 7, стопорное устройство 8 и регистрирующую аппаратуру.



а – прямой ход ТО;
б – реверсивное движение ТО

Рисунок 1 – Схема стандовой установки конвейера с ГНУ

Прямолинейный конвейер длиной 20 м смонтирован на горизонтальной поверхности и оборудован одной приводной станцией, содержащей один приводной блок. В приводной блок входят: трехступенчатый цилиндро-конический редуктор с передаточным числом 33,882, асинхронный электродвигатель ЭДКОФ437В25 мощностью 37 кВт, гидромуфта ТП32. Приводная звездочка конвейера имеет 9 зубьев при среднем радиусе навивки цепи 0,1835 м. Двухцепной ТО собран из пятнадцатизвенных отрезков цепи 18х64-С 2-15 2ТУ 12.44.10.015-94.

Стандовая установка работает следующим образом.

При прямом включении привода тяговое усилие от приводной звездочки 1 передается на верхнюю ветвь ТО 2, далее через измерительное тензозвено 3 на остальную часть ТО. После разгона двигателя ТО стопорится в точке А на обводной звездочке 6 посредством стопорного устройства 8. При пуске электродвигателей в обратном направлении тяговое усилие передается на нижнюю ветвь. Тяговый орган стопорится в точке А става верхней ветви. Измерительные тензозвенья находятся по обе стороны от стопора.

Гидравлическая схема экспериментального образца ГНУ приведена на рисунке 2.

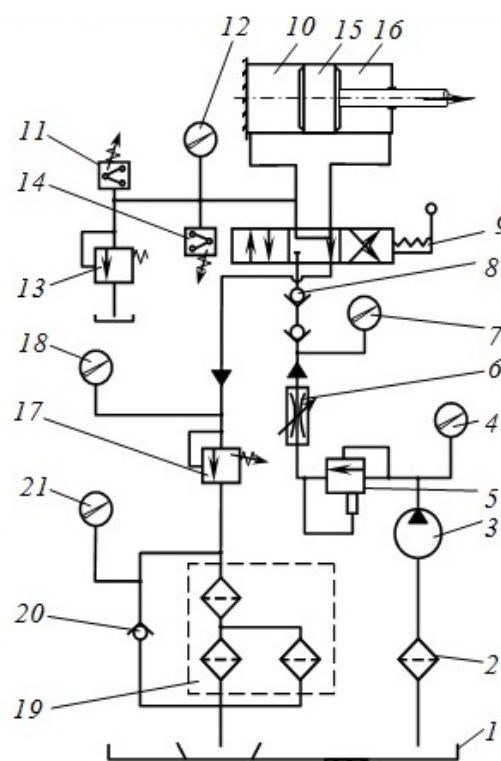


Рисунок 2 – Гидравлическая схема натяжного устройства

В состав ГНУ входят: маслябак 1; фильтр 2 грубой очистки 0,15 С42-12; плунжерный насос 3 Н400; два гидроцилиндра (ГЦ) с рабочей поршневой полостью 10, штоковой полостью 16 и поршнем 15; манометр 4 контроля давления рабочей жидкости на выходе из насоса; клапан предохранительный (ПК) 5 БГ54-24, ограничивающий максимальное давление на участке напорной магистрали между ПК и поршневыми полостями ГЦ; дроссель 6 с регулятором Г55-22, предназначенный для регулирования скорости перемещения штоков ГЦ; манометр 7 для контроля давления на выходе ПК 5; последовательно соединенные обратные клапаны 8 Г51-21; крановый гидрораспределитель 9 «ЭРА-1м» с тремя задействованными положениями. К поршневой полости ГЦ подсоединены: манометр 12 контроля давления в рабочей полости ГЦ; предохра-

тельный клапан 13 типа ВГ54-22 и гидро-реле 14 ПГ62-11 для отключения электродвигателя. На сливной магистрали установлены: подпорный клапан 17, создающий противодействие в штоковой полости ГЦ для стабилизации сил трения, и контролирующий давление подпора манометр 18; каскад фильтров 19 средней очистки 0,12Г41-22 и тонкой очистки 0,08 С42-11; подпорный клапан 20, через который проходит поток рабочей жидкости (РЖ) при засоренных фильтрах, и манометр 21, контролирующий степень засоренности фильтров.

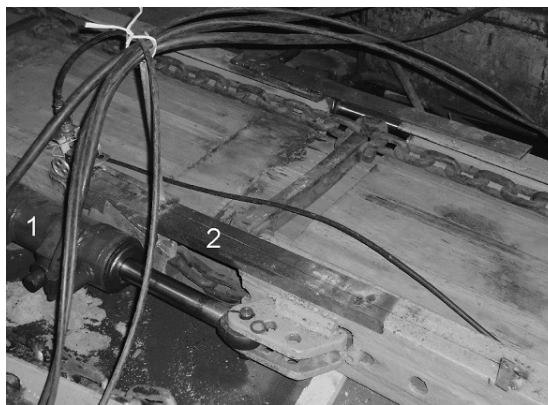
Предохранительный клапан БГ54-24 имеет следующие технические характеристики: номинальное значение давления настройки $p_{пк} = 6,3$ МПа, наименьшее рекомендуемое давление – 0,6 МПа, номинальный расход РЖ $Q_{пк} = 0,0013$ м³/с.

ГНУ работает следующим образом. Заливка насоса 3 осуществляется за счет разности уровней установки насоса и маслобака. После включения электродвигателя насоса 3 РЖ через ограничитель давления – клапан 5, дроссель 6, обратные клапаны 8, крановый распределитель 9 проходит в рабочую поршневую полость 10 ГЦ. После достижения заданного предварительного натяжения ТО конвейера насос 3 по сигналу от гидрореле 11 отключается, крановый распределитель 9 остается в положении «на проход». В то же время обратные клапаны 8 отсекают РЖ в рабочей полости 10 ГЦ. При повышении давления в рабочей полости 10 до значения, соответствующего заданному натяжению ТО, включается гидрореле давления 14, от микровыключателя которого поступает команда на автоматическое отключение двигателя конвейера.

Основным элементом стендовой установки является раздвижной рештак (рис. 3) с двумя ГЦ (диаметр и ход поршня, соответственно, 125 и 500 мм).

После подпитки рабочей полости ГЦ золотник гидрореле давления 11 через микровыключатель отключает двигатель насоса. Когда давление в рабочей полости

ГЦ достигнет верхнего допустимого предела, на который настроена пружина ПК 13, золотник в ПК подожмет пружину, пропуская часть РЖ из замкнутого контура на слив.



Обозначения: 1 – гидроцилиндры, 2 – рештак

Рисунок 3 – Раздвижной рештак ГНУ

От реле давления 14 поступает команда на отключение электродвигателя конвейера. Таким образом, ГНУ обеспечивает: 1) поддержание в автоматическом режиме давления в рабочей полости ГЦ и, соответственно, усилия натяжения ТО в заданных пределах; 2) защиту силовой системы конвейера от экстренных перегрузок.

Для регистрирования процесса стопорения ТО разработан комплект контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратуры. Измерялись величины, характеризующие динамические процессы в силовой системе конвейера при экстренном стопорении ТО, а именно: $\omega_{эд}$ и ω_2 – угловые скорости ЭД и второго вала редуктора; $\varphi_{эд}$ и φ_2 – угловые перемещения ЭД и второго вала редуктора; S – усилие, измеряемое тензометрической станцией; p_r – давление в гидроцилиндрах; l – выдвигание штоков гидроцилиндров; I_d , U_d – ток и напряжение питания ЭД; $x_{п.с}$ – перемещение приводной станции.

Варьировалось давление настройки предохранительного клапана от 2 до 5 МПа.

Размещение на стенде датчиков, контрольно-измерительной и регистрирующей

щей аппаратуры, телескопического решётка 13 с гидроцилиндрами и стопорного устройства 14 отражено на рисунке 4.

Тензозвенья 1 (ТЗ1 и ТЗ2) предназначены для измерения усилий натяжения ветвей ТО, расположенных по обе стороны от стопора, датчик продольного перемещения 4 (ДП) – для измерения линейного перемещения приводной станции, датчик давления 2 (ДД) – для измерения давления в гидравлической сети системы. Тахогенераторами 3 и 8 (ТГ1 и ТГ2) измеряются частоты вращения, соответственно, ротора приводного ЭД 7 и второго промежуточного вала редуктора 5, что позволяет регистрировать частоту вращения элементов привода конвейера при его пуске и опре-

делять текущее значение скольжения ГМ 6. С помощью трансформатора тока 15 (ТТ) измеряется ток, потребляемый ЭД. Тензоусилитель 9 (ТУ) преобразует сигнал, поступающий от тензозвена 1, до уровня, необходимого для работы осциллографа 12 (ФО). Сигналы с датчика перемещения 4, тахогенераторов 3 и 8, а также ток и напряжение питания ЭД подаются на осциллограф 12 через блок соединения 11 (БС). Автоматический фидерный выключатель АФВ и магнитный пускатель МП служат для защиты и оперативной коммутации силовой цепи питания ЭД. Электрическая схема коммутируется с помощью гибких кабелей 10.

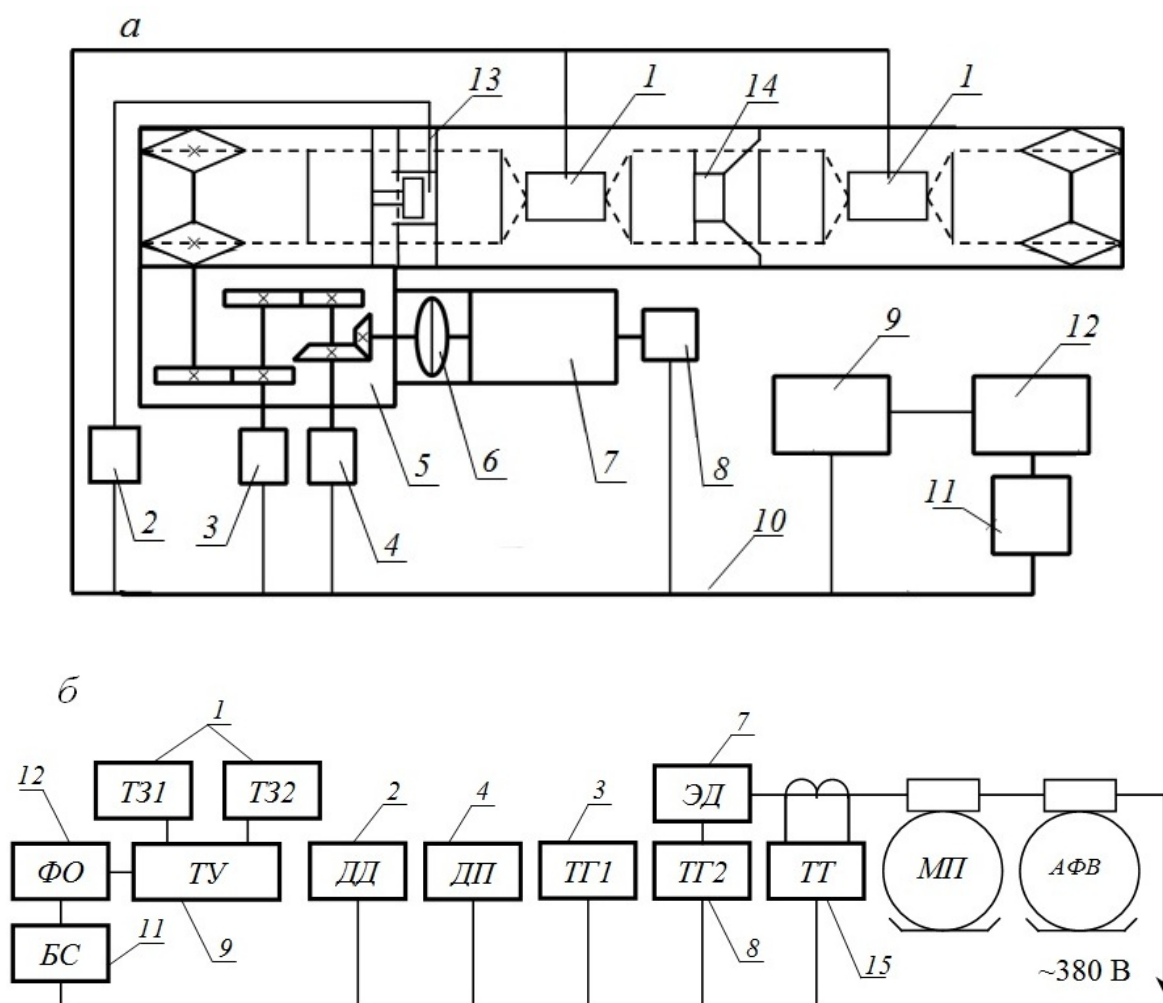


Рисунок 4 – Схема размещения на стенде (а) и коммутации (б) контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратуры

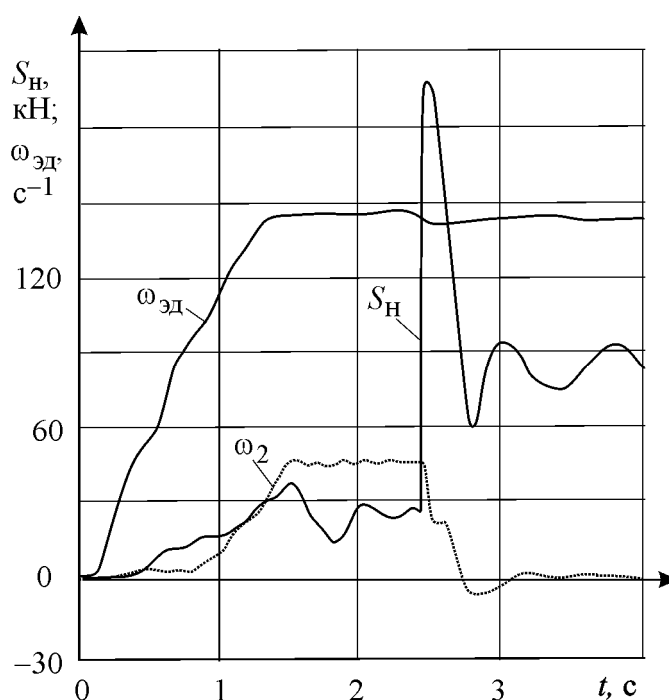


Рисунок 5 – Осциллограмма экстренного стопорения скребкового конвейера СП63 без участия ГНУ и без отключения ЭД

Типичные процессы нагружения при экстренном стопорении ТО отражены на рисунках 5-7.

Анализ результатов исследования пуска конвейера с последующим после выхода конвейера на режим установившегося движения ТО его экстренного стопорения, как при работе ГНУ, так и при его блокировании путем закрутки предохранительного клапана, показал, что во всех случаях ЭД выходит на устойчивую часть механической характеристики. В рабочем режиме работы частота вращения ротора ЭД составляет $145...147 \text{ с}^{-1}$, а его скольжение – $0,077...0,064$. Пуск, полностью в соответствии с теоретическими результатами исследований, проходит в штатном режиме, при котором динамические нагрузки, благодаря работе гидромфты, незначительно, примерно в 1,2 раза, превышают нагрузки при установившемся движении. Напряжение на зажимах обмотки статора U_d при пуске снижается до $315...355 \text{ В}$, а при установившемся движении устанавливается на уровне

$365...395 \text{ В}$. Значения тока статора ЭД I_d при пуске находятся в пределах $325...415 \text{ А}$, при установившемся движении – в пределах $185...230 \text{ А}$.

На рисунке 5 представлен фрагмент типичной осциллограммы, на которой отражен динамический процесс экстренного стопорения ТО ($l_{ст} = 18,2 \text{ м}$) при заблокированном ГНУ. На 2-й секунде наблюдается резкое возрастание усилия в набегающей ветви S_H до 192 кН . Гидромфты в приводе не в состоянии полностью предотвратить динамические нагрузки в силовой системе. Затем, в течение 1 с , отмечаются непродолжительные с периодом $0,6 \text{ с}$ затухающие колебания системы и, наконец, ее остановка. Усилие натяжения устанавливается на уровне 82 кН , что отвечает максимальному крутящему моменту, передаваемому гидромфтой при заторможенном турбинном колесе. В данном случае натяжение, соответствующее работе муфты ТП32 при застопоренном тяговом органе, т.е. в режиме работы привода на упор, в 2,3 раза меньше максимального

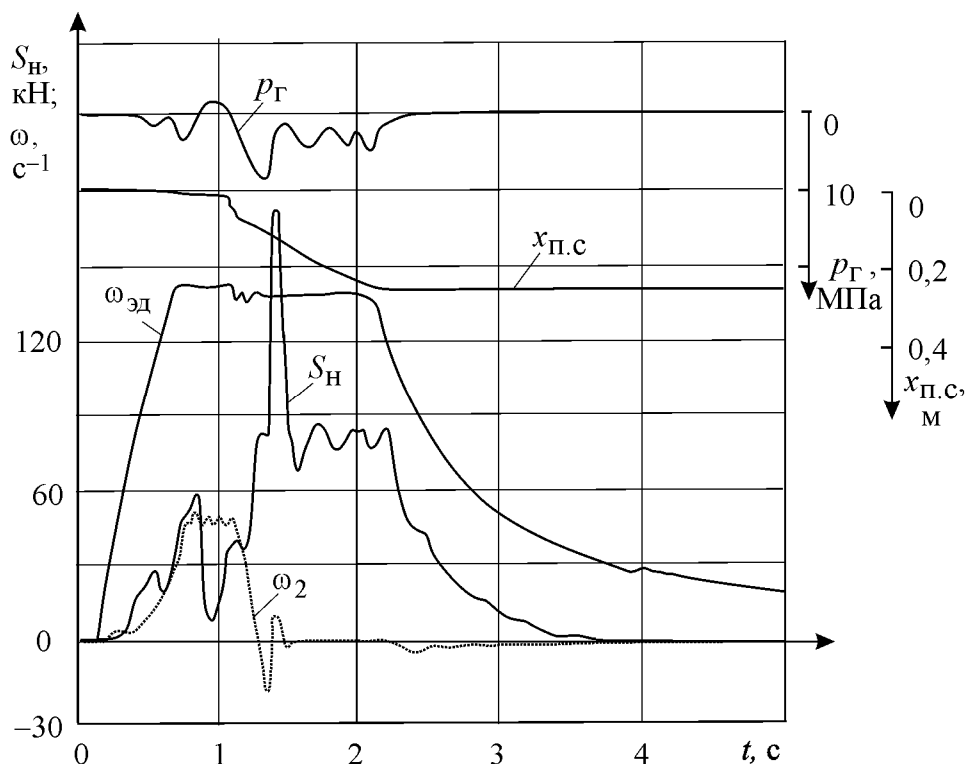


Рисунок 6 – Осциллограмма экстренного стопорения скребкового конвейера СП63 с ГНУ при $p_{п.к.} = 3$ МПа

натяжения. Такое соотношение усилий характерно для муфты ТП32, в которой при выведении части рабочей жидкости из рабочей полости в камеру сброса наблюдаются «провалы» крутящего момента. Для современных муфт (ГПЭ400 и др.), в которых предусматриваются конструктивные элементы (порог, лопастное колесо на насосном колесе), снижающие интенсивность слива рабочей жидкости в пусковую камеру, такого значительного падения крутящего момента и, соответственно, натяжения ТО не предполагается.

Аналогичные диаграммы, полученные при тех же условиях и настройке предохранительного клапана на 3 МПа и номинальном расходе РЖ $0,0013 \text{ м}^3/\text{с}$, представлены на рисунке 6.

В начале процесса заклинивания при сработавшем ПК наблюдается резкое кратковременное возрастание давления в ГЦ до 7 МПа, а затем снижение практически до

3 МПа. Максимальное значение усилия натяжения $S_{H \max}$ достигает 170 кН, что, благодаря применению ГНУ, на 12...14 % меньше, чем в предыдущем случае. При последующей работе привода на упор S_H также устанавливается на уровне 82 кН. Чем больше давление настройки предохранительного клапана $p_{пк}$ при данном $Q_{пк}$, тем меньше нагрузки по величине отличаются от нагрузок базового варианта (без ГНУ).

Несмотря на значительную массу приводной станции, ее перемещение, практически с постоянной скоростью 0,5 м/с, начинается сразу же после срабатывания ПК, что подтверждает теоретические выводы о достаточном быстродействии оперативной защиты посредством ГНУ и ее безопасности для обслуживающего персонала.

Теоретические исследования показали, что в случае применения современных ГМ по истечении хода гидроцилиндров ГНУ возможно появление второго пика нагрузок,

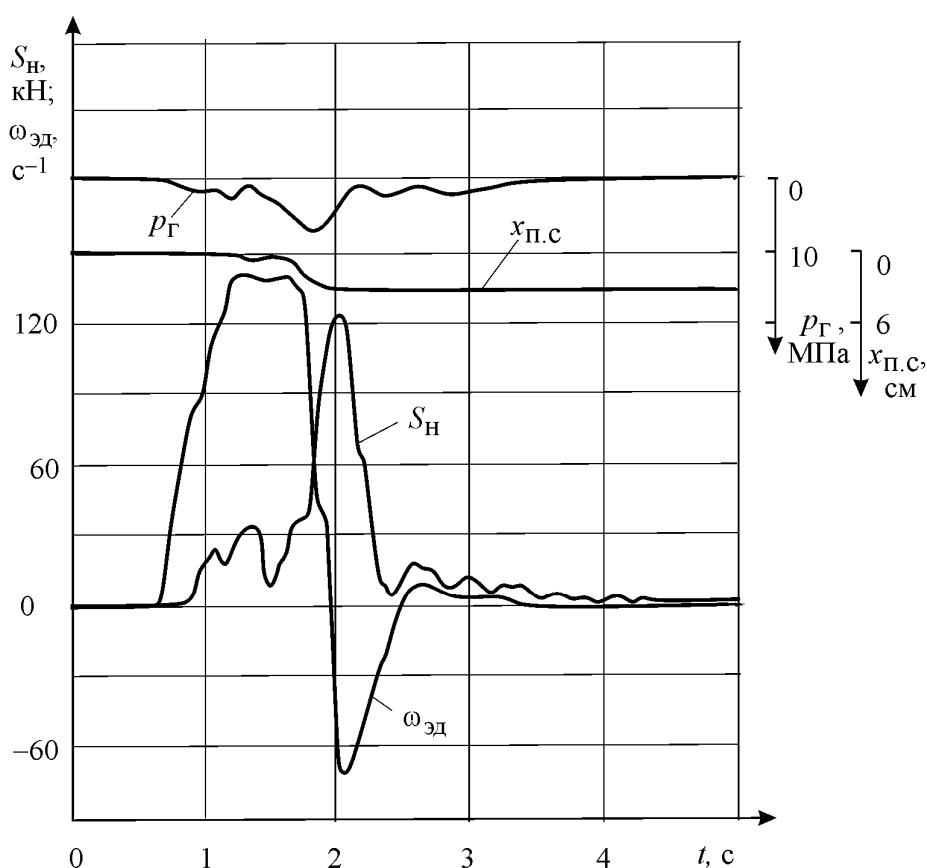


Рисунок 7 – Осциллограмма экстренного стопорения скребкового конвейера СП63 с ГНУ при $p_{п.к} = 3$ МПа и отключении ЭД

причем при определенном сочетании $p_{п.к}$ и $Q_{п.к}$ значения нагрузок могут превысить нагрузки, соответствующие первому пику. Поступательное движение привода при срабатывании ПК и работающем ЭД позволяет отсрочить появление второго пика нагрузок в ТО, но не исключает его появление, а также срабатывание тепловой защиты муфты.

Своевременное, сразу же после срабатывания ПК, по сигналу от реле давления, отключение ЭД позволяет устранить отмеченные недостатки защиты и снизить уровень $S_{н\max}$ до 132 кН (рис. 7). Настройка реле на давление, незначительно превышающее $p_{п.к}$, исключает ложные, до срабатывания ПК, отключения ЭД. Отключение ЭД в сочетании с работой ГНУ, т.е. комплексная защита от экстренных перегрузок, позволяет снизить нагрузки в 1,45 раз.

Для подтверждения возможности возникновения обратного удара предусматривалась работа конвейера в реверсном режиме при заблокированном ГНУ. Стопор устанавливался, по возможности, ближе к приводной станции, во избежание наезда на него тензометрической станции – на расстоянии 6 м от приводной станции, тензометрические станции – по обе стороны от стопора (рис. 1, б). После стопорения конвейера максимальное усилие в набегающей ветви достигло 118,4 кН. При этом на сбегающей ветви при первоначальном натяжении, равном нулю, наблюдается провисание цепи. При отключении ЭД усилие натяжения сбегающей ветви при резком перемещении ТО в направлении набегающей ветви достигает 57,2 кН, что подтверждает возможность возникновения обратного удара. В случае применения ГНУ ударные нагрузки в сбегающей ветви не наблюдались.

Теоретические зависимости, полученные в результате компьютерного моделирования, практически совпадают с экспериментальными кривыми.

Итак, в ходе эксперимента установлено, что ГНУ может служить важным элементом системы комплексной оперативной защиты ССК от экстренных перегрузок.

Выводы и направление дальнейших исследований.

Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность гидравлических натяжных устройств, применяемых в сочетании с отключением приводного двигателя после срабатывания предохранитель-

ного клапана, являющегося атрибутом гидравлического натяжного устройства, в качестве компоненты системы оперативной защиты конвейера от экстренных перегрузок в наиболее тяжелых режимах заклинивания как набегающей, так и сбегающей ветви тягового органа вблизи привода.

Получило экспериментальное подтверждение явление обратного удара в сбегающей с привода ветви тягового органа при ее стопорении вблизи привода и защитном отключении ЭД, а также факт существенного снижения или исключения обратного удара в случае применения ГНУ.

Библиографический список

1. Сигалов Л.Н. Гидравлическое устройство защиты привода скребкового конвейера / Л.Н. Сигалов // Разработка месторождений полезных ископаемых. — К. : Техника, 1987. — Вып. 78. — С. 43–49.
2. Корнеев С.В. Моделирование экстренных перегрузок забойных скребковых конвейеров с гидродинамическим приводом и гидравлическими натяжными устройствами / С.В. Корнеев, В.И. Сафонов, В.Ю. Доброногова // Сб. науч. тр. ДонГТУ. — Алчевск : ИПЦ Ладос, 2012. — Вып. 36. — С. 35–43.
3. Корнеев С.В. Ударные нагрузки в тяговом органе забойного скребкового конвейера с гидродинамическим приводом / С.В. Корнеев, В.И. Сафонов, В.Ю. Доброногова. — Уголь Украины, №12, 2012. — С. 16–19.

Рекомендована к печати зав. каф. ПГМ ДонГТУ, к.т.н., доц. Чебаном В.Г., зав. каф. ГЭМиТС ЛГУ им. Даля, к.т.н., доц. Петровым А.Г.

Статья поступила в редакцию 06.05.16.

д.т.н. Корнеев С.В., Доброногова В.Ю., Долгих В.П. (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО НАТЯЖНОГО ПРИСТРОЮ ВИБІЙНОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА ПРИ СТОПОРІННІ ТЯГОВОГО ОРГАНУ

Наведено результати експериментальних стендових досліджень захисних функцій гідравлічного натяжного пристрою з телескопічним ригидом вибійного скребкового конвеєра з гідродинамічним приводом при заклиненні тягового органу. Встановлено ефективність захисту від екстрених перевантажень у поєднанні з відключенням приводного електродвигуна.

Ключові слова: експеримент, стенд, скребковий конвеєр, гідравлічний натяжний пристрій, заклинення, перевантаження, оперативний захист, ефективність.

Dr.Sci.Tech. Korneiev S.V., Dobronogova V.Yu., Dolgykh V.P. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF HYDRAULIC TIGHTENER OF ARMED FACE CONVEYOR AT CHAIN BARRING

The results of experimental bench researches on protective functions of hydraulic tightener with telescopic extension unit of armed face conveyor with hydrodynamic drive at chain barring are given in the paper. Efficiency of protecting from emergency overload with simultaneous drive motor cut-off has been determined.

Key words: experiment, bench, armored conveyor, hydraulic tightener, barring, overloads, operating protection, efficiency.

УДК 621.66-9

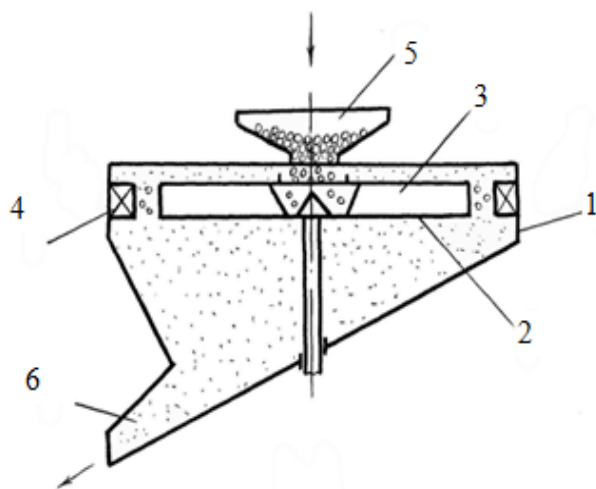
к.т.н. Левченко Э.П.,
Павлиненко О.И.,
Власенко Д.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗГОННО-УДАРНЫХ МЕЛЬНИЦ ДЛЯ РАСКАЛЫВАНИЯ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ СКОРОСТНЫХ РАСЧЕТОВ

Путем аналитических расчетов и анализа зависимости абсолютной скорости вылета стальной дробы из ротора разгонно-ударной мельницы уточнена скорость удара частиц при производстве колотой стальной дробы. В результате анализа протекающих процессов выявлены пути их улучшения за счет применения многоступенчатого измельчения и эффективного отвода готового продукта.

Ключевые слова: разгонно-ударная мельница, абсолютная скорость, стальная дробь, многоступенчатое измельчение, шаровая мельница.

В настоящее время все более широкое внимание уделяется сравнительно новым видам дробильно-измельчительных машин, в том числе работающим по принципу разгона материала лопастями быстро вращающегося ротора и реализующим способ разрушения свободным ударом (рис. 1). Это вызвано их некоторыми преимуществами по сравнению с широко распространенными молотковыми дробилками.



- 1 - корпус, 2 - ротор, 3 - разгонная лопасть,
4 - отбойное кольцо, 5 - загрузочная воронка,
6 - разгрузочное устройство

Рисунок 1 – Разгонно-ударная мельница

Аналогичные устройства, на основе лабораторной установки «Штраубе», приме-

няются для определения износостойкости стальной дробы. Однако, для приготовления колотой дробы применяются шаровые мельницы, работающие по принципу стесненного удара, что зачастую приводит к лишнему переизмельчению с образованием пылевых фракций, идущих в отходы. Поэтому, актуальной является задача эффективного раскалывания стальной дробы при низком процентном содержании металлической пыли и экономном расходе электроэнергии на дробление.

Основным фактором, непосредственно влияющим на разрушающую способность материала при выбросе из ротора разгонно-ударной мельницы, является скорость, чему уделяется внимание многих исследователей таких машин [1-3]. Таким образом, точное определение критической скорости, гарантирующей разрушение стальной дробы является первостепенным, ибо раскалывание происходит, как правило, при однократном ударном воздействии, что должно быть гарантировано еще на этапе проектирования машины.

Одним из эффективных методов определения скорости выброса из мельницы является применение математического аппарата на основе решения дифференциальных зависимостей, описывающих движение частиц в роторе мельницы.

Задачей данной публикации является уточнение аналитической зависимости скорости вылета стальной дроби из ротора разгонно-ударной мельницы и возможности их применения для раскалывания стальной дроби.

В ранее проводимых исследованиях известна математическая зависимость абсолютной скорости вылета материала из разгонно-ударной мельницы от основных параметров ротора [1]:

$$V_b = \omega R \times \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2} - \frac{r_n}{R} \cdot f}}{\sqrt{f^2 + 1 + f}} \right)^2} + \sqrt{1 + \frac{2 \left(\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2} - \frac{r_n}{R} \cdot f} \right) \frac{r_n}{R}}{\sqrt{f^2 + 1 + f}}} \right). \quad (1)$$

За основу исследований при выводе формулы (1) принята расчетная схема (рис. 2).

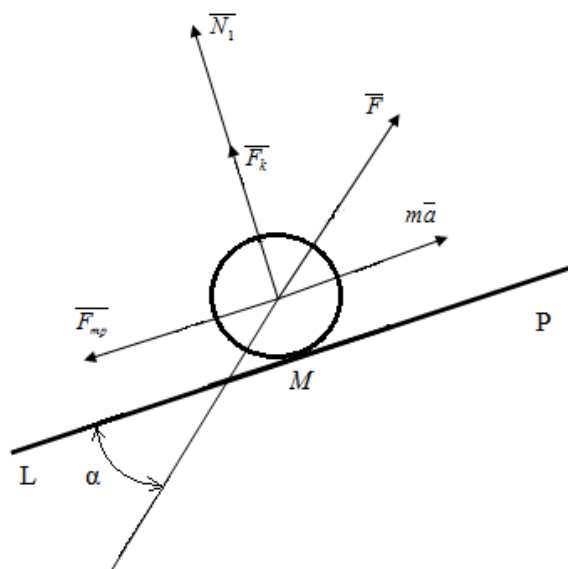


Рисунок 2 – Расчетная схема

Зависимость (1) была получена на основе дифференциального уравнения [1].

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} + 2f\omega \frac{dS}{dt} - \omega^2 S = \omega^2 (S - r \cdot f), \quad (2)$$

где m – масса частиц в г.; dS – элементарное перемещение частицы по лопасти ротора за время dt ; ω – угловая скорость вращения ротора, c^{-1} ; f – коэффициент трения; r – радиус, нормальный к лопасти.

При этом точка М задает текущее положение частицы в момент времени t на разгонной лопасти LP (рис. 2). Положение частицы на лопасти во время движения характеризуется перемещением $S(t) = LM$. Угловая скорость вращения диска равна ω . В плоскости лопасти на частицу действуют следующие силы: N_l – сила реакции лопасти, N_2 – сила реакции диска, F_k – сила Кориолиса.

В соответствии с законом Ньютона [4], в проекции на LP сумма действующих на сферу сил:

$$m \cdot a - F_{mp} - F_u \cdot \cos \alpha = 0,$$

где: m – масса частицы; a – ее ускорение; F_{mp} – сила трения; F_u – центробежная сила; α – угол наклона лопасти к радиусу диска.

Решением уравнения (2) служит выражение для относительной скорости [1].

$$V_{om} = \frac{dS}{dt} = \frac{\omega \left(\sqrt{R^2 - r_n^2} - r_n \cdot f \right)}{\sqrt{f^2 + 1 + f}}. \quad (3)$$

Абсолютная скорость V находится по теореме косинусов [5] (рис. 3):

$$V = \sqrt{V_{om}^2 + V_{окр}^2 - 2 \cdot V_{om} \cdot V_{окр} \cdot \cos \alpha}, \quad (4)$$

где $V_{окр} = \omega \cdot R$, $|OP| \perp V_{окр}$.

Из треугольника КРО (рис. 3) следует [5]:

$$S(t) = \sqrt{R^2 - r_n^2} - b. \quad (5)$$

Такая зависимость получена с учётом того, что частица дроби начинает двигаться по

лопасти не от центра диска, а только на расстоянии LP (в связи с тем, что лопасть расположена не радиально, а ротор снабжён распределительным конусом, имеющим радиус нижнего основания КО). Таким образом, длина пути движения дроби $S(t) = |LP| = |KP| - |KL|$, что меньше на величину $|KL| = b$ того пути, который могла бы пройти частица, если бы движение начиналось в месте пересечения нормального радиуса распределительного конуса и образующей поверхности лопасти.

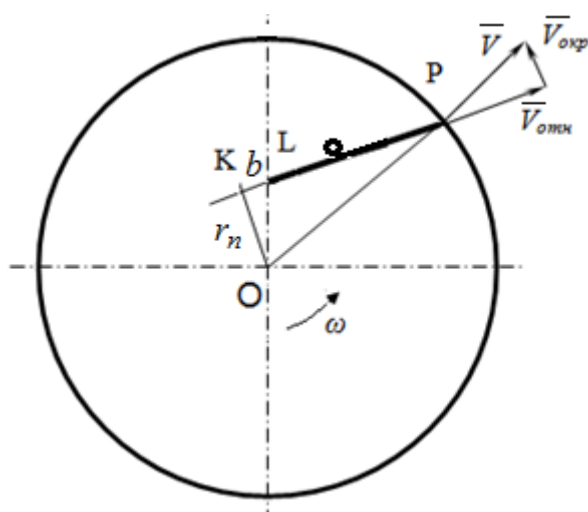


Рисунок 3 – Движение по лопасти

В таком случае абсолютная скорость вылета частиц из ротора определяется по формуле, которая отличается от (1) знаком «минус» при втором слагаемом:

$$V = \omega R \times \left[\sqrt{1 + \frac{\left(\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2}} - \frac{r_n}{R} \cdot f \right)^2}{\sqrt{f^2 + 1} + f}} - \sqrt{\frac{2 \left(\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2}} - \frac{r_n}{R} \cdot f \right) \frac{r_n}{R}}{\sqrt{f^2 + 1} + f}} \right]. \quad (6)$$

Погрешность вычислений по формуле (6) в практических расчетах не превышает 2% [5].

Определим погрешность вычислений абсолютной скорости, рассчитанной по формулам (1) и (6):

$$\Delta V = \frac{V_b - V}{V_b} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Для упрощения расчетов, проводимых в общем виде, выполним анализ формулы абсолютной скорости, исходя из того, что коэффициент трения качения для дроби, имеющей форму сферы, можно считать, как бесконечно малую величину, и им можно пренебречь. Так, например, для шарикоподшипника качения, имеющего множество сферических тел качения, составляет 0,995, т. е. потери на трение шариков фактически отсутствуют.

Подставим значения формул (1) и (6) без учета коэффициента трения в выражение (7):

$$\Delta V = \frac{2 \left(\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2}} \right) \frac{r_n}{R}}{\left(\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2}} \right) \frac{r_n}{R}} \cdot 100\% = 200\%.$$

Таким образом, расчеты по формуле (1) могут приводить к завышенным результатам скорости удара стальной дроби при ее раскалывании почти в 2 раза.

Минимальную предупредную скорость частицы дроби можно найти экспериментальным путем для размеров дроби разного диаметра, исходя из равенства кинетической и потенциальной энергий, обеспечивающих гарантированное раскалывание:

$$E = \frac{m_d \cdot V_{\min}^2}{2} = m_c \cdot g \cdot h, \quad (8)$$

где m_d – масса частицы дроби, г; V_{\min} – минимальная скорость дроби в момент удара, гарантирующая ее раскалывание; m_c –

масса падающего груза при экспериментальном раскалывании дробы, г; g – ускорение свободного падения; h – минимальная высота падения груза, вызывающая раскалывание дробы, м.

Из равенства (8) скорость удара частицы об отбойную плиту должна составить не менее:

$$V \geq \sqrt{2 \cdot \frac{m_{\bar{a}}}{m_{\bar{a}}} \cdot g \cdot h}. \quad (9)$$

С учетом численных значений, входящих в уравнение (9), и объема сферы $\pi d^3/6$ при удельной массе стальной дробы $\rho=7,82 \text{ г/см}^3$ формула (9) приобретет следующий вид:

$$V \geq \sqrt{2 \cdot \frac{m_{\bar{a}}}{\rho \cdot \pi d^3} \cdot g \cdot h}. \quad (10)$$

Или, окончательно, со всеми численными вычислениями:

$$V \geq 0,22 \sqrt{\frac{m_{\bar{a}}}{d^3} \cdot h}, \quad (11)$$

где d – диаметр дробы, м.

Приравняв скорости, найденные по выражениям (6) и (11), можно определить угловую скорость вращения ротора разгонно-ударной мельницы.

$$0,22 \sqrt{\frac{m_{\bar{a}}}{d^3} \cdot h} = \omega R \times \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2} - \frac{r_n}{R} \cdot f}}{\sqrt{f^2 + 1 + f}} \right)^2} - \sqrt{\frac{2 \left(\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2} - \frac{r_n}{R} \cdot f} \right) \frac{r_n}{R}}{\sqrt{f^2 + 1 + f}}} \right]. \quad (12)$$

Отсюда угловое ускорение ротора разгонно-ударной мельницы будет описываться выражением (13):

$$\omega = \frac{0,22 \sqrt{\frac{m_{\bar{a}}}{d^3} \cdot h}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2} - \frac{r_n}{R} \cdot f}}{\sqrt{f^2 + 1 + f}} \right)^2} - \sqrt{\frac{2 \left(\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2} - \frac{r_n}{R} \cdot f} \right) \frac{r_n}{R}}{\sqrt{f^2 + 1 + f}}}}. \quad (13)$$

Или, упрощенно, при бесконечно малом (нулевом) значении коэффициента трения качения:

$$\omega = \frac{0,22 \sqrt{\frac{m_{\bar{a}}}{d^3} \cdot h}}{\sqrt{1 + \left(\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2}} \right)^2} - 2 \left(\sqrt{1 - \frac{r_n^2}{R^2}} \right) \frac{r_n}{R}}. \quad (14)$$

При необходимости легко пересчитать угловую скорость вращения в частоту вращения по известным зависимостям.

Для практического применения свободного удара при раскалывании стальной дробы необходимо создавать достаточно большие скорости ее вылета. Это негативно может сказываться на надежности работы машины в связи с высокой изнашивающей способностью металлических абразивных частиц и самой дробы, относительно быстро выводя машину из работоспособного состояния. При этом возможны внезапные разрушения защитного корпуса, в результате чего может возникнуть повышенная вероятность угрозы обслуживающему персоналу. Поэтому крайне желательно снизить угловую частоту вращения ротора, например, путем осуществле-

ния многоступенчатого разрушения [6], когда на первом этапе стальная дробь может получать внутренние дефекты, приводящие к предварительному зарождению трещин в ее структуре, а на последующих стадиях – проводить окончательное раскалывание.

При проводимых экспериментах было замечено, что выбрасываемая из ротора дробь отражается от брони рабочих плит и рикошетом возвращается в зону действия лопастей ротора, что существенно снижает эффективность работы мельницы, резко увеличивая потери электроэнергии, а также сильно изнашивает конечные участки рабочих лопастей. Это впоследствии требует их частой замены и проведения сложных балансировочных работ. Таким образом, ремонтпригодность мельницы существенно усложняется, и снижаются межремонтные сроки эксплуатации. Одним из технических решений, направленных на устранение данного недостатка, является выполнение отбойных поверхностей с наклоном в сторону выгрузки раскалываемого материала.

Приведенные недостатки разгонно-ударных дробильно-измельчительных машин при раскалывании стальной дроби указывают, что применяемые для этой цели шаровые мельницы являются более надежными и безопасными в работе, однако требуют адекватной доработки в части организации более надежного способа реализации стесненного удара, т. к. ударное

взаимодействие сферических мелющих тел со сферическими частицами дроби является очень неэффективным с точки зрения осуществления центрального удара. Поэтому в первоначальный момент дробь раскалывается очень плохо, а затем, когда появляются частицы некруглых форм, начинается их резкое переизмельчение с образованием значительного количества металлической пыли, идущей в отбраковку.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Известная формула абсолютной скорости вылета частицы из ротора разгонно-ударной мельницы для стальной дроби сферической формы дает фактически в два раза завышенное значение, что затрудняет адекватное описание протекающих процессов приготовления колотой дроби.

2. Разгонно-ударные дробилки за счет реализации способа разрушения свободным ударом обеспечивают значительную скорость вылета стальной дроби, что является неблагоприятным с точки зрения как стойкости футеровочных элементов мельницы, так и охраны труда производственного персонала.

3. Перспективным направлением раскалывания стальной дроби в разгонно-ударных мельницах с точки зрения снижения скоростей вылета дроби является применение многоступенчатых схем измельчения и эффективного отвода отраженных от отбойных поверхностей частиц к зоне разгрузки мельницы.

Библиографический список

1. Оскаленко Г.Н. Исследование дробления и измельчения силикатных и других материалов в центробежной роторной мельнице-дробилке : автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.05.04 "Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины" / Г.Н. Оскаленко. — Днепропетровск, 1965. — 27 с.
2. Вайтехович П.Е. Модель движения материала в роторе-ускорителе центробежно-ударной дробилки / П.Е. Вайтехович, П.С. Гребенчук, А.В. Таболич // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. — 2014. — № 3. — С. 102–104.
3. Королев П.П. Исследования по роторно-ударным дробилкам / П.П. Королев, В.Н. Алтухов, Э.П. Левченко // Сборник научных трудов ДГМИ. — Алчевск, 2002. — Вып. 16. — С. 180–184.
4. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. — М. : Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1963. — 480 с.

5. Левченко Э.П. Интенсификация технологического процесса измельчения зерна на комбикорм в центробежно-ударной мельнице: дис. канд. техн. наук : 05.05.11 / Левченко Эдуард Петрович. — Луганск, 2001. — 179 с.

6. Пат. 2029618 Россия, МКИ В02С 13/14. Центробежная дробилка / Онощенко А.Н., Зинченко А.М., Левченко Э.П., Сухомлин Р.М.; заявитель и патентособственник Левченко Эдуард Петрович. — № 4882162/33; заявл. 16.11.90; опубл. 30.01.93, Бюл. № 6. — 3 с.: ил.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. ДонГТУ Ульяницьким В.Н.,
д.т.н., проф. ДонНТУ Еронько С.П.**

Статья поступила в редакцию 16.05.16.

к.т.н. Левченко Е.П., Павлиненко О.І., Власенко Д.О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ЗАСТОСУВАННЯ РОЗГІННО-УДАРНИХ МЛИНІВ ДЛЯ РОЗКОЛЮВАННЯ СТАЛЬНОГО ДРОБУ ТА ОСБЛИВОСТІ ЇХ ШВИДКІСНИХ РОЗРАХУНКІВ

Шляхом аналітичних розрахунків та аналізу залежності абсолютної швидкості вильоту сталюого дробу з ротору розгінно-ударного млину уточнено швидкість удару частинок при виробництві колотого сталюого дробу. В результаті аналізу процесів, що протікають, виявлено шляхи їх покращення за рахунок застосування багатоступеневого подрібнення та ефективного відводу готового продукту.

Ключові слова: розгінно-ударний млин, абсолютна швидкість, сталюий дріб, багатоступеневе подрібнення, кульковий млин.

PhD in Engineering Levchenko E.P., Pavlinenko O.I., Vlasenko D.A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

USING THE ROTOR-IMPACT MILLS FOR STEEL SHOT CLEAVING AND PECULIARITIES FOR THEIR RATE COMPUTATIONS

The impact velocity of particles in steel grit production has been defined through analytical calculations and analyzing the dependence of steel shot absolute escape velocity out of impact mill rotor. As a result of analysis of occurring processes the ways for their enhancement were found out due to using the multi-stage milling and effective product yielding.

Key words: rotor-impact mill, absolute rate, steel grit, multi-stage milling, ball mill.

УДК 621.967.1

к.т.н. Ульяницкий В.Н.,
Петров П.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРОФИЛЯ НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗКИ ФАСОННОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА СОРТОВЫМИ НОЖНИЦАМИ

В статье проведён анализ влияния формы разрезаемого сечения и относительного направления реза на эффективность разделительной операции при обработке фасонного металлопроката сортовыми ножницами.

Ключевые слова: фасонный металлопрокат, сортовые ножницы, сила резки, работа резки, уголок, швеллер, полоса, штрипс.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Разделение фасонного металлопроката на мерные длины является весьма важной и ответственной задачей при проектировании нового и модернизации действующего технологического оборудования в современном сортопрокатном производстве. Существующие способы получения мерных заготовок из сортового проката можно разделить на две группы: 1) основанные на процессах механической резки, сопровождающиеся образованием отходов; 2) способы безотходного разделения сортового проката, основанные на процессах обработки металлов давлением. С учетом того, что операции поперечного разделения являются заключительными в технологической цепи производства сложнопрофильного металлопроката (уголок, двутавр, швеллер и т. п.) и выполняются над товарным продуктом, к качеству и энергоэффективности процесса резки предъявляют особые требования [1, 2].

В связи с этим способы резки, исключаяющие стружкообразование, характеризующиеся высокими материалосберегающими, экономичными показателями и увеличенной (более чем в 2 раза) производительностью, являются перспективными для дальнейшей разработки и совершенствования [3, 4].

Основными показателями процесса резки, подразделяющегося на три этапа (вмя-

тие ножей в металл, сдвиг или собственно рез, отрыв), являются сила P и работа резки A , определение которых принято проводить по известным методикам А. И. Целикова [5]. Вместе с этим указывается, что при определении максимального значения силы резки фасонными ножами (квадрат по диагонали) можно использовать результаты, полученные для случая резки параллельными ножами заготовки с сечением, равным по площади.

Однако, как следует из [2], положение и форма профиля относительно направления движения ножей, оказывают влияние на силу и работу резки. Так, опираясь на результаты работы [6], было показано, что распределение силы резки в зависимости от хода ножей и температурно-деформационных параметров имеет сложный характер. Погрешность определения максимальной силы резки по отношению к известным методам расчета [5] может сократиться в 2,58 раза при резке квадрата параллельными ножами и в 7,17 раза при разделении квадрата по диагонали. Это обусловлено учетом реальной геометрии профиля и кинематикой развития очага деформации, реализованными описанной ранее математической моделью [7].

В свою очередь, необходимость использования фасонных (фигурных) ножей при осуществлении разделительных операций сортовых профилей на ножницах усложняет методику расчета и требует дополне-

ния соответствующих алгоритмов; при этом вопрос определения сил резки применительно к фланцевым профилям в литературе освещен недостаточно.

Постановка задачи.

Цель работы – провести анализ влияния формы разрезаемого сечения и относительного направления реза на эффективность разделительной операции при обработке фасонного металлопроката сортовыми ножницами.

Комплексный подход к решению задач энергоэффективности процесса резки сложнопрофильного металлопроката невозможен без создания математических моделей с последующим обобщением и анализом полученных результатов.

Изложение материала и результаты.

Для вычисления силы резки фасонными ножами 1 и 3 швеллера 2 следует рассмотреть расчетную схему на рисунке 1. На рисунке обозначены следующие параметры: H – высота полки; t_p – толщина полки; B – ширина стенки; t_s – толщина стенки.

Ввиду симметрии швеллера относительно вертикальной оси можно рассматривать только половину сечения. В правой половине сечения выделяем точки т.2 и т.3, координаты которых определяют продолжительность характерных зон (уча-

стков) швеллера, отсчитываемые от начала координат (точка т.1) вдоль оси абсцисс.

В общем виде их координаты определяются следующими выражениями (рис. 1, а):

$$\text{т.1 } [0; 0], \text{ т.2 } [0,5 \cdot B - t_p; 0],$$

$$\text{т.3 } [0,5 \cdot B; 0].$$

Сила резки в зависимости от глубины внедрения ножа y на характерных участках сечения I и II , имеющих исходную высоту $h_x^I = t_s$, $h_x^{II} = H$ (рис. 1, б), и с учетом того, что площадь выделенного элементарного объема на удалении x определяется как $ds = h_{\varepsilon_x} \cdot dx$, может быть вычислена интегралом вида:

$$P(y) = 2 \int_{x_{т.1}}^{x_{т.2}} \tau_{\varepsilon_x}^I h_{\varepsilon_x}^I dx + 2 \int_{x_{т.2}}^{x_{т.3}} \tau_{\varepsilon_x}^{II} h_{\varepsilon_x}^{II} dx, \quad (1)$$

где y – суммарное смещение ножей в процессе резки;

$h_{\varepsilon_x} = h_x - y$ – текущая высота сечения (рис. 1, б), вычисляемая в зависимости от участка профиля по следующим выражениям: $h_{\varepsilon_x}^I = t_s - y$, $h_{\varepsilon_x}^{II} = H - y$;

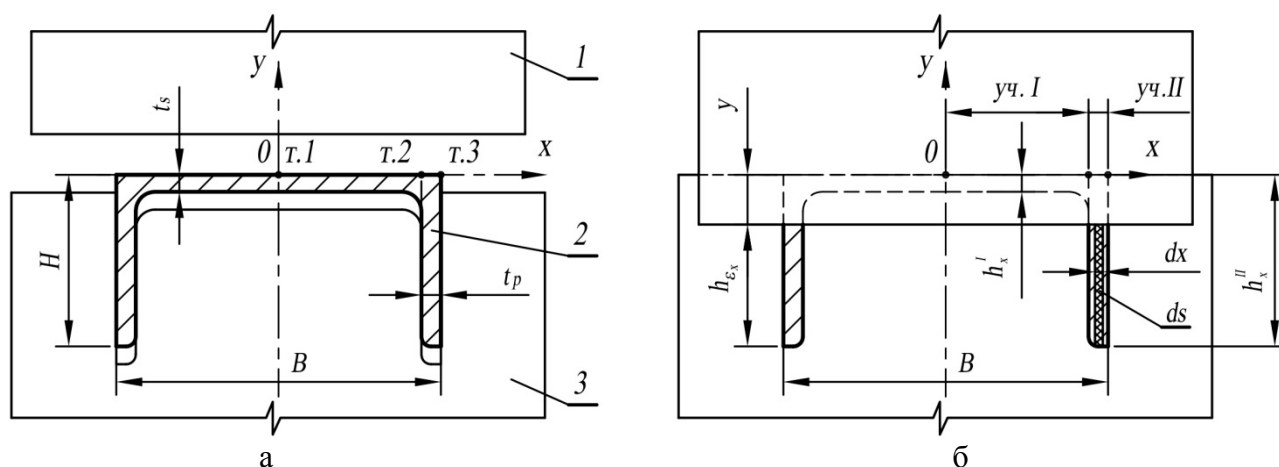


Рисунок 1 – Схема к определению силы резки швеллера фасонными ножами; а – расположение ножей и заготовки до начала резки; б – в процессе резки

τ_{ε_x} – сопротивление срезу по сечению заготовки от оси к периферии, учитывающее влияние величины относительного надреза ε_H и механических свойств материала [6]:

$$\tau_{\varepsilon_x} = \frac{1,41 \cdot \sigma_b}{1,74 - \varepsilon_{H_x}} \cdot \left(\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_{H_x}} \right)^{0,35}, \quad (2)$$

$\varepsilon_x = \frac{y}{h_x}$ – текущее внедрение, в зависи-

мости от участка: $\varepsilon_x^I = \frac{y}{t_s}$, $\varepsilon_x^{II} = \frac{y}{H}$,

ε_{H_x} – текущее относительное внедрение до скола, при котором происходит полное разделение рассматриваемого элементарного объема;

σ_b – предел прочности разрезаемого материала.

В итоге зависимость силы резки от глубины внедрения y будет иметь следующий вид:

$$P(y) = 2k^I \int_{x_{T.1}}^{x_{T.1} + t_s} [\tau_{\varepsilon_x} (t_s - y)] dx + 2k^{II} \int_{x_{T.2}}^{x_{T.2} + H} [\tau_{\varepsilon_x} (H - y)] dx, \quad (3)$$

где k^I и k^{II} – критерий, определяющий влияние соответствующего характерного участка сечения на силу резки в зависимости от хода ножа y через заготовку:

$$k^{I,II} = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq h_{np}^{I,II} \leq k_{раз}; \\ 0 & \text{при } h_{np}^{I,II} > k_{раз}, \end{cases} \quad (4)$$

где h_{np} – предельная (до разрушения) высота рассматриваемого элементарного объема на характерном участке: $h_{np} = y / (\varepsilon_{H_x} \cdot h_x)$;

$k_{раз} = 1,0 \div 1,5$ – коэффициент, определяющий момент наступления разрушения, зависящий от материала заготовки, на-

стройки ножниц и состояния режущих кромок ножей; определяется эмпирически; для пластичных материалов и новых ножей – $k_{раз} = 1,0$.

На рисунке 2 представлены экспериментальные I и теоретические II зависимости силы резки от относительного внедрения $\varepsilon = y/H$ ножей в металл при разделении швеллера 10x20x10x1,9 мм из алюминиевого сплава АА6063 [8].

Из представленных графиков можно увидеть, что результаты экспериментов хорошо согласуются с теоретическими зависимостями. Максимальная сила резки, полученная эмпирически $P_y = 16,75$ кН, рассчитанная аналитически $P_T = 15,97$ кН, погрешность $\Delta = 4,66\%$. Это позволяет использовать разработанную методику определения силы резки при моделировании подобных процессов. Аналогичные зависимости, описывающие изменение силы резки, от хода ножа были получены для случаев разделения равнобокого уголка, круга и квадрата [6], что позволяет рассмотреть различные схемы реализации процесса и выявить из них наиболее эффективные.

Для выявления характера влияния формы и положения разрезаемого сечения на силу и работу деформации были выбраны сортовые профили с одинаковой площадью поперечного сечения ($S = 91,39$ мм²), но разной формы: уголок равнобокий, швеллер и полоса (штрипс). Сечения отобранных профилей и их расположение в ножевых калибрах представлены на рисунке 3. Следует отметить, что пространственные положения профиля углового равнобокого в ножевых калибрах, представленные на рисунке 3 (в, г) (угол наклона полок относительно горизонтали $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 20^\circ$), на практике не применяются и приведены в данной работе исключительно в исследовательских целях.

Используя представленные выше зависимости (1)–(4), описывающие характер изменения силы резки в зависимости от хода ножа при разделении швеллера, и результаты

опубликованных ранее работ по резке квадрата (прямоугольника) и углового профиля [6], мы получили распределения силы резки в

зависимости от относительного смещения ножей, представленные на рисунке 4.

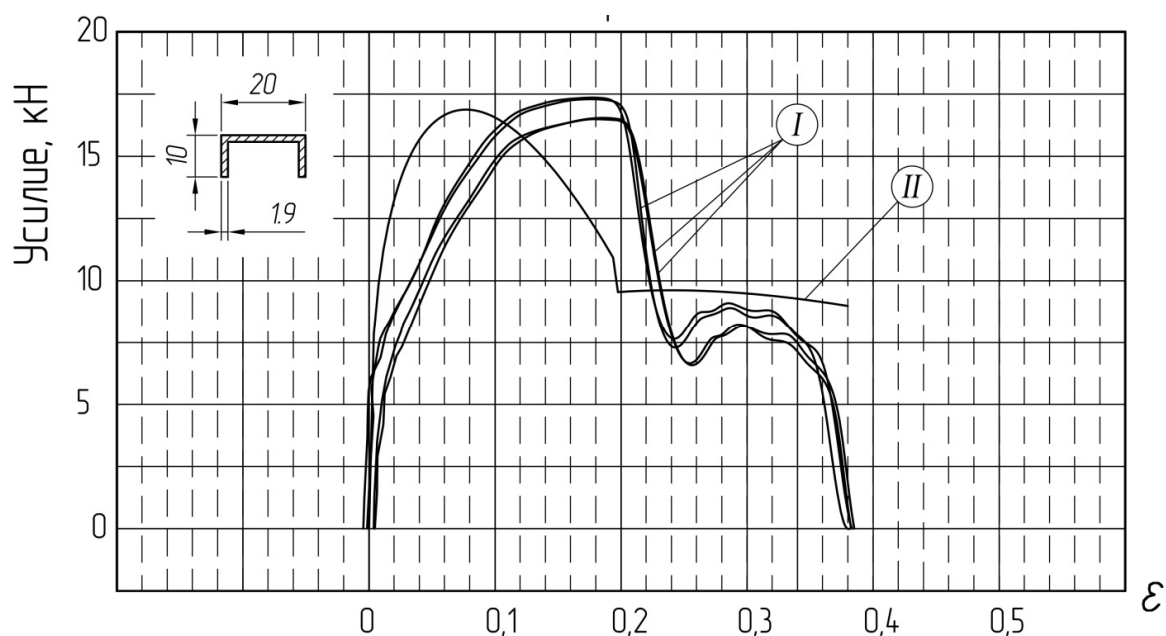


Рисунок 2 – Осциллограммы *I* и теоретические зависимости *II* силы резки швеллера 10x20x10x1,9 мм

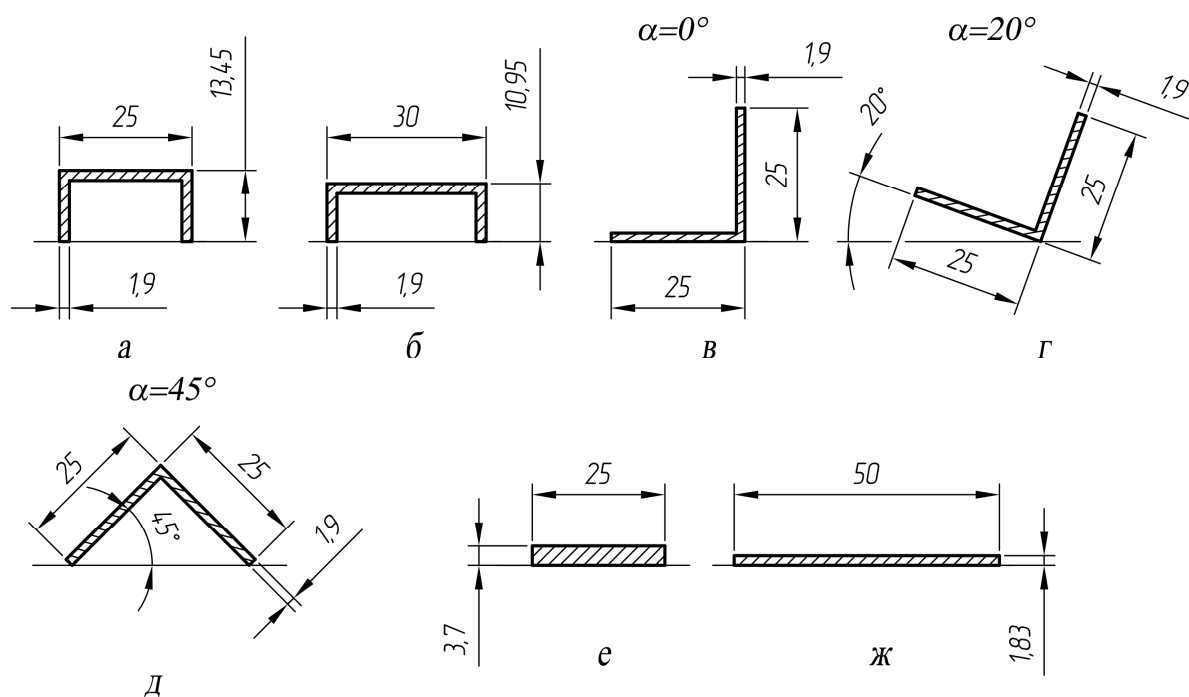


Рисунок 3 – Типы профилей и их положение при резке в ножевых калибрах: а, б – швеллер; в, г, д – уголок равнобокий, соответственно расположенный относительно горизонтали под углом $\alpha = 0^\circ, 20^\circ, 45^\circ$; е, ж – полосовой профиль

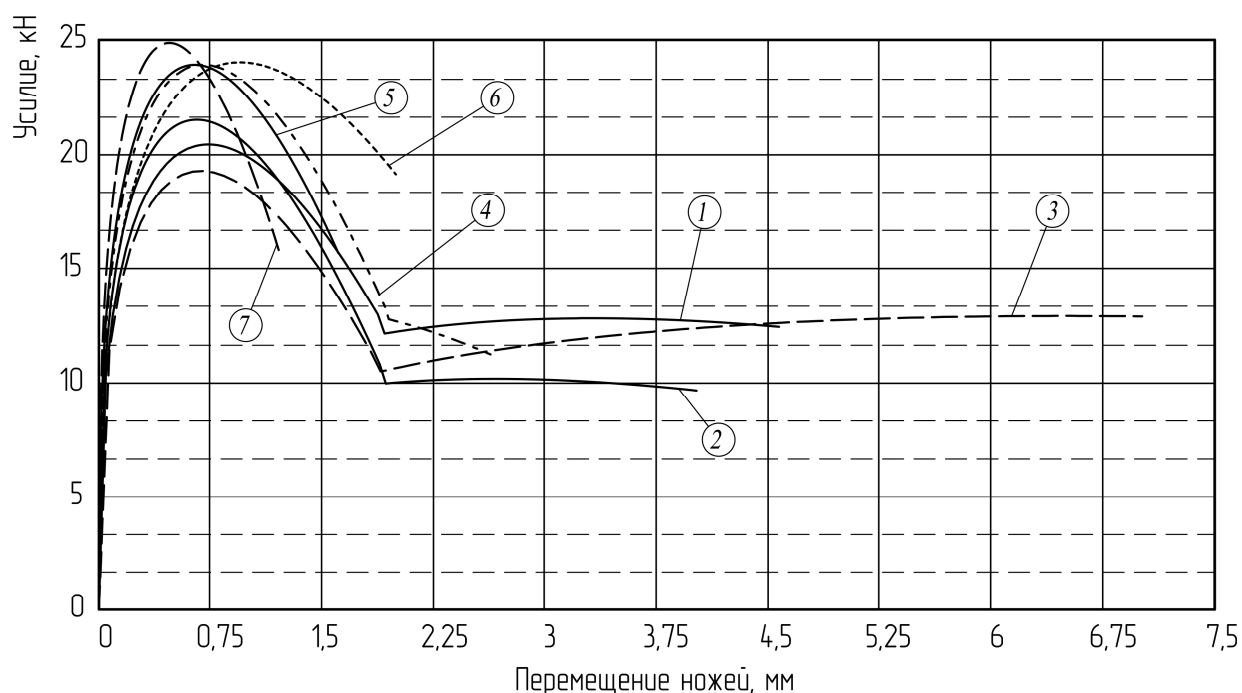


Рисунок 4 – Зависимости силы резки от перемещения ножей при разделении равных по площади сечения фасонных профилей и штрипса на сортовых ножницах: 1 – швеллер 13,45х25х1,9 мм (рис. 3, а); 2 – швеллер 10,95х30х1,9 мм (рис. 3, б); 3 – уголок равнобокий 25х25х1,9 мм при $\alpha = 0^\circ$ (рис. 3, в); 4 – при $\alpha = 20^\circ$ (рис. 3, г); 5 – при $\alpha = 45^\circ$ (рис. 3, д); 6 – профиль прямоугольный 25х3,66 мм (рис. 3, е); 7 – профиль прямоугольный 50х1,83 мм (рис. 3, ж)

Анализ графических зависимостей позволяет оценить влияние формы разрезаемого профиля на распределение силы резки P и суммарную работу A . Наибольшая сила резки $P_{max} = 24,87$ кН действует при разделении прямоугольного сечения 50х1,83 мм (кривая 7, рис. 4). По мере уменьшения ширины профиля (или его горизонтальной проекции) сила резки уменьшается и минимальное значение, соответствующее обработке равнобокого уголка 25х25х1,9 мм при $\alpha = 0^\circ$ (рис. 3, в), составит $P_{min} = 19,25$ кН (кривая 3, рис. 4). Важно то, что площади поперечных сечений указанных заготовок одинаковы. Такое распределение силы резки характерно для всех рассмотренных случаев расположения заготовок. Смещение углового профиля из ортогонального положения ($\alpha = 0^\circ$) приводит к значительному возрастанию максимальной силы резки: $P_{\alpha=0^\circ} = 19,25$ кН (кривая 3, рис. 4),

$P_{\alpha=45^\circ} = 23,92$ кН (кривая 5, рис. 4). Однако располагать сечение под нетехнологичным углом (например $\alpha = 20^\circ$) нерационально ввиду незначительного снижения максимальной силы резки, что можно проследить по кривым 4, 5 (рис. 4).

При проектировании оборудования на предельные нагрузки необходимо знать величину максимальной силы резки. Не менее важным параметром является работа резки A , влияющая на энергоэффективность установки ножниц. Ее величина определяется площадью между графиком функции $P(y)$ и осью абсцисс. Выражение для расчета работы резки имеет вид:

$$A = \int P(y) dy. \quad (5)$$

Работа резки максимальна в случае разделения равнобокого уголка 25х25х1,9 мм в положении, соответствующем $\alpha = 0^\circ$ (рис. 3, в), и составляет $A_{max} = 93,66$ Дж.

Минимальное значение $A_{min} = 25,93$ Дж получено при резке прямоугольного сечения $50 \times 1,83$ мм. Это подтверждает, тот факт, что работа резки возрастает по мере увеличения хода ножей через заготовку и зависит от максимальной ординаты контура профиля. Поэтому располагать уголок в положении, соответствующем $\alpha = 0^\circ$ (рис. 3, в), несмотря на минимальную силу резки, не следует. Практическую ценность представляет сравнение работы резки фланцевых профилей, чему соответствуют кривые 1, 2, 4, 5 на рисунке 4. Работа резки швеллера $13,45 \times 25 \times 1,9$ мм (кривая 1, рис. 4) составляет $A_1 = 67,13$ Дж; равнобокого уголка $25 \times 25 \times 1,9$ мм при $\alpha = 45^\circ$ (кривая 5, рис. 4) – $A_5 = 33,37$ Дж. Работа резки A_5 почти в 2 раза меньше работы резки A_1 , несмотря на равенство площадей поперечного сечения выбранных заготовок.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Для выявления влияния формы и расположения разрезаемого сечения на эффективность разделительных операций была создана математическая модель, описывающая процессы резки фланцевых профилей.

Полученные значения максимальной силы и работы резки при различных схемах реализации процесса разделения фланцевых профилей сортавыми ножницами позволяют уточнить и расширить классические представления.

Максимальная сила резки зависит от ширины разрезаемого профиля. Отклонение между максимальным $P_{max} = 24,87$ кН и минимальным $P_{min} = 19,25$ кН значениями составляет 23%.

Максимальная работа резки также зависит от высоты разрезаемого профиля. Отклонение между максимальным $A_{max} = 93,66$ кН и минимальным $A_{min} = 25,93$ кН значениями составляет 72%, а при обработке только фланцевых профилей – 50%, что следует считать значительным.

Анализ результатов вычислений силы резки и работы резки, а также полученные величины отклонений указывают на необходимость рационального подхода при проектировании нового и модернизации действующего технологического оборудования наряду с совершенствованием методик описания процесса резки сложнопрофильного металлопроката сортавыми ножницами.

Библиографический список

1. Трофимчук В.Д. Дефекты прокатной стали и меры борьбы с ними / В.Д. Трофимчук. — М. : Металлургия, 1954. — 632 с.
2. Соловцов С.С. Безотходная разрезка сортового проката в штампах / С.С. Соловцов. — М. : Машиностроение, 1985. — 175 с.
3. Трусовский В.И. Развитие теории и практики производства заготовок обработкой давлением на основе совершенствования методов анализа НДС, создания новых способов и устройств: дис. ... доктора техн. наук: спец. 05.02.09 "Технология и машины обработки давлением" / В.И. Трусовский. — Челябинск, 2014. — 260 с. +прил.
4. Карнаух С.Г. Разработка оборудования для разделения сортового проката (труб) на мерные заготовки с применением нитинола / С.Г. Карнаух, Д.С. Карнаух, Н.В. Чоста // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. — Краматорск : ДГМА, 2015. — № 2 (41). — С. 323–326.
5. Целиков А.И. Прокатные станы : учебник для вузов / А.И. Целиков, В.В. Смирнов. — М. : Металлургиздат, 1958. — 432 с.
6. Боровик П.В. Теоретическое определение силы резки ножницами фасонных профилей / П.В. Боровик, П.А. Петров // Металлургическая и горнорудная промышленность. — Днепрпетровск, 2013. — № 5. — С. 41–44.

7. Боровик П.В. Особенности процесса холодной резки квадратной заготовки на сортовых ножницах / П.В. Боровик, П.А. Петров // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. — Алчевск : ДонГТУ, 2012. — Вып. 38. — С. 190–196.

8. Цвияк А.П. Краткий справочник машиностроителя-международника /А.П. Цвияк. — СПб.: Питер, 2011. — 384 с.: ил.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Харламовым Ю.А.,
д.т.н., проф. ЛГТУ им. Даля Гутько Ю.И.*

Статья поступила в редакцию 23.05.16.

к.т.н. Ульяницький В.Н., Петров П.О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ВПЛИВ ФОРМИ І РОЗТАШУВАННЯ ПРОФІЛЮ НА ЕНЕРГОСИЛОВІ ПАРАМЕТРИ РІЗАННЯ ФАСОННОГО МЕТАЛОПРОКАТУ СОРТОВИМИ НОЖИЦЯМИ

У статті проведено аналіз впливу форми перетину, що розрізається, і відносного напрямку різа на ефективність розділювальної операції при обробці фасонного металопрокату сортовими ножницями.

Ключові слова: фасонний металопрокат, сортові ножниці, сила різання, робота різання, профіль кутовий, швелер, смуга, штрипс.

PhD in Engineering Ulianitskii V.N., Petrov P.A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

INFLUENCE OF SHAPE AND POSITION OF A SECTION ON ENERGY-POWER PARAMETERS WHEN CUTTING A SHAPED STEEL-ROLLED STOCK WITH SHEARS FOR SECTION IRON

In the paper there has been given the analysis of influence of cutting profile shape and relative cut direction on efficiency of separation process for shaped steel-rolled stock with section shearing machine.

Key words: shaped steel-rolled stock, section shearing machine, cutting power, cutting work, L-bar, channel bar, bar, candy.

УДК 62-133.2+669

Власенко Д.А.,
к.т.н. Левченко Э.П.,
Павлиненко О.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

АНАЛИЗ ОТКЛОНЕНИЯ МОЛОТКОВ С КОМБИНИРОВАННЫМ КРЕПЛЕНИЕМ БИЛ В ДРОБИЛКАХ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

На основании определения взаимодействия сил при взаимном контакте молотков с частицей известняка приведены результаты исследований угла отклонения бил в молотковой дробилке в момент удара при сравнительном анализе процесса дробления с различным количеством жестко закрепленных молотков в ряду и массы частицы материала. В результате исследований выявлена зависимость угла отклонения бил от количества жестко закрепленных молотков на оси и от массы частицы известняка.

Ключевые слова: угол отклонения молотков, молотковая дробилка, била, диспергирование известняка

Анализ дробильных машин, применяемых в агломерационном производстве, а именно в технологии производства агломерата, указывает, что существенное влияние на качество агломерационного сырья для доменных печей оказывают не только процессы, протекающие при окусковании железной руды в результате спекания, но и устойчивость агломерата к механическим процессам саморазрушения при его производстве. При этом именно оптимальная крупность компонентов шихты выступает определяющим фактором в процессе производства агломерата.

С учетом вышесказанного, для усовершенствования агломерационного производства необходимо оптимизировать процессы подготовки шихтовых составляющих, в частности процессы дробления известняка.

Вопросы подготовки сырых флюсов к агломерации, связанные с диспергированием известняка в дробилках, с точки зрения получения оптимальной крупности являются основополагающими вследствие своего непосредственного и существенно-го влияния на производительность процесса агломерации [1].

В настоящее время в металлургической промышленности при дроблении известняка в агломерационном производстве ис-

пользуют молотковые дробилки с шарнирно подвешенными молотками [2]. В таких конструкциях из-за нежесткого крепления молотков происходит потеря эффективности разрушения за счет отклонения молотка при его соударении с кусками материала.

В дробильных агрегатах с комбинированным креплением бил [3] угол отклонения уменьшается, при этом снижается износ рабочих органов [4] за счет увеличения импульса молотков, жестко закрепленных на оси.

Комбинированный способ крепления молотков предполагает взаимосвязанную неподвижную установку молотков в ряду, когда при соударении с материалом взаимодействует масса не одного молотка, а некоторого количества их, набранных в единый узел [4].

Сравнительное сопоставление угла отклонения бил в молотковых дробилках с комбинированным креплением молотков к оси ротора заключается в анализе действия сил и определении изменения угла отклонения ударных элементов в момент соударения с материалом при различном количестве жестко закрепленных молотков на оси. При подаче известняка в дробилку ударного типа с шарнирным подвесом бил, как в молотковой дробилке, некоторое ко-

личество энергии расходуется на отклонение молотков от своего радиального положения, в результате чего снижается эффективность процесса дробления и увеличиваются энергозатраты. Это обусловлено тем, что ударный импульс по материалу передается молотку и энергия, направленная на разрушение, частично уходит на преодоление сил инерции молотков, которые, в свою очередь, являются результатом действия на молотки центробежной силы. В роторных дробилках с комбинированным креплением молотков такое явление отсутствует. Поэтому рациональным является рассмотрение процессов, влияющих на перераспределение энергии в этих двух типах машин в сравнительном анализе.

Рассмотрим действие одиночных ударов молотков дробилки в момент взаимодействия рабочих органов с частицей известняка, когда противодействием силе удара молотков является инерция кусков. При этом делается допущение, что между сырьем и молотком возникает упругий, прямой центральный удар. Схема проникновения кусков известняка в рабочую зону и положение молотков до и после удара представлены на рисунке 1.

Дробление материала наиболее эффективно при центральном ударе, т. е. при глубине проникновения частицы в зону вращающихся молотков на величину [5]

$$c \geq 0,6 \cdot D_{\max}, \quad (1)$$

где D_{\max} – максимальный диаметр частиц сырья.

Молоток при ударе отклоняется относительно точки подвеса от своего радиального положения и одновременно вращается вместе с ротором в окружном направлении.

По закону сохранения импульса [6], с учетом количества молотков:

$$n \cdot m_m (V' - V) = F_B - F_D, \quad (2)$$

где n – количество жестко закрепленных молотков в ряду; m_m – масса одного молотка; V' и V – окружные скорости центра массы молотка, соответственно, до и после удара; F_B , F_D – импульсы удара, соответственно, в точке В и точке D (рис. 1б).

На основе теории об изменении количества движения центра массы, а также принимая во внимание, что скорость центра

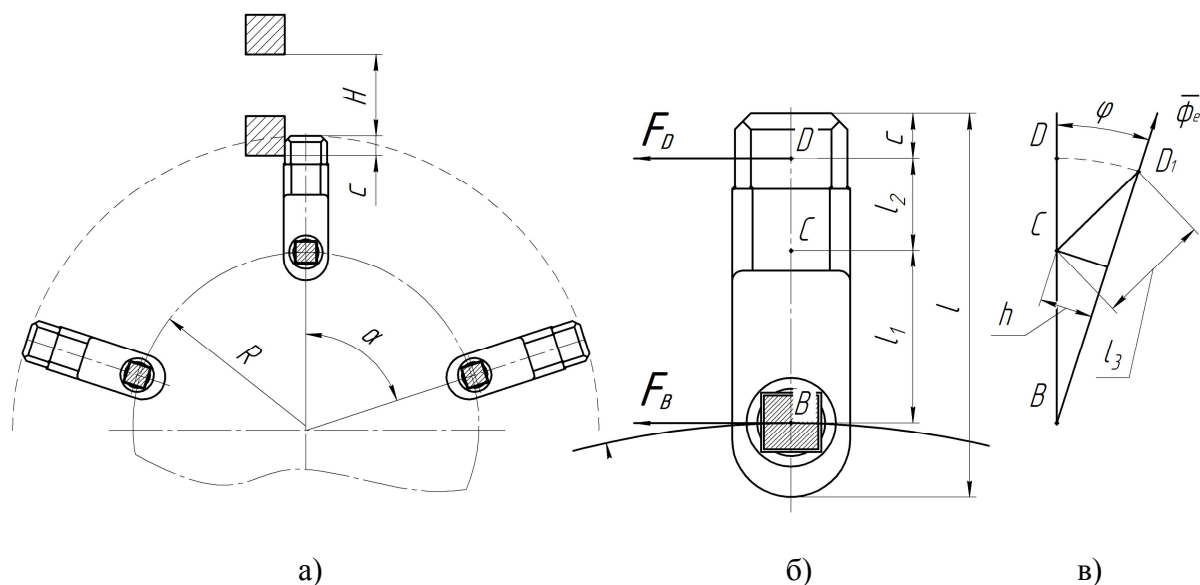


Рисунок 1 – Схемы к определению:

а - глубины проникновения частицы в зону вращающихся молотков; б - положения молотка до удара по куску материала; в – положение молотка после удара по материалу

массы молотка относительно оси подвеса в начале удара равна нулю, скорость куска материала по направлению движения центра тяжести молотка также равна нулю, с учетом требований, что ось подвеса не должна испытывать ударного импульса ($F_B=0$), применяя методику [5], имеем:

$$F_D = n \cdot m_m \cdot V, \quad (3)$$

где $V = l_1 \cdot \omega_m$ – линейная скорость центра массы молотка в конце удара относительно оси подвеса; ω_m – угловая частота вращения молотка в конце удара относительно оси подвеса (точка В).

Или:

$$F_D = n \cdot m_m \cdot \frac{F_D(l_1 + l_2)}{J_{zz}} l_1, \quad (4)$$

где J_{zz} – момент инерции молотка относительно оси подвеса; l_1 – расстояние до центра тяжести молотка; l_2 – расстояние от центра тяжести молотка до точки (С) приложения удара (рис. 1-б).

Из уравнения (4) получаем:

$$J_{zz} = n \cdot m_m \cdot (l_1^2 + l_1 l_2). \quad (5)$$

При этом, согласно требованиям к молотковым дробилкам, на ось подвеса молотков, а, следовательно, на подшипники ротора не передается удар молотка по куску материала ($F_B=0$).

Момент инерции молотков при их вращении:

$$J_{zz} = \frac{n \cdot m_m \cdot l^2}{12} + n \cdot m_m l_1^2, \quad (6)$$

где l – полная длина молотка.

Совместным решением уравнений (5) и (6) определяем размер l_1 или, при известных размерах молотка, величину c .

После удара предполагаем, что молоток отклоняется на угол φ_{\max} и поддерживается в равновесном состоянии за счет центробежной силы. Тогда, не учитывая вес молотка в его новом положении, на основе

теоремы изменения кинетического момента [6] можно записать:

$$m_k V_0 (l_1 + l_2) = J_{zz} \omega_0 + m_k V_k' (l_1 + l_2), \quad (7)$$

где m_k – масса куска материала; V_0 – скорость молотка до удара; V_k – скорость куска материала после удара; ω_0 – угловая скорость поворота молотка относительно оси его подвеса (точки В) после удара; ω – угловая скорость вращения ротора.

В данном уравнении левый член является кинетическим моментом массы частицы до удара, правый – суммарным кинетическим моментом самого молотка и куска материала.

При упругом ударе частица материала приобретает скорость, равную скорости молотка, обусловленную вращением ротора:

$$V_k' = -V_0 = \omega(R + l_1 + l_2), \quad (8)$$

где R – радиус подвеса молотков.

Угловая скорость молотка после удара:

$$\omega_0 = \frac{m_k (l_1 + l_2) (V_0 - V_k')}{J_{zz}} = \frac{2m_k (l_1 + l_2) \omega (R + l_1 + l_2)}{J_{zz}}, \quad (9)$$

где m_k – масса куска материала.

Для движения молотка после удара запишем теорему об изменении кинетической энергии, пренебрегая силами тяжести и поворотом ротора за время отклонения молотка на угол φ_{\max} :

$$\frac{J_{zz} \omega_0^2}{2} = \int_0^{\varphi_{\max}} F_u h d\varphi, \quad (10)$$

где F_u – переносная сила инерции.

Из треугольника BCD_1 (рис. 1-в) следует, что:

$$(l_1 + l_3)^2 = l_1^2 + l_3^2 + l_1 l_3 \cos \varphi_{\max}, \quad (11)$$

где l_3 – расстояние CD_1 на рисунке 1-в.

Площадь треугольника $S_{\Delta BCD_1}$, исходя из схемы, характеризующей положение молотка после удара по материалу, изображенной на рисунке 1-в, выразим таким образом:

$$S_{\Delta BCD_1} = \frac{1}{2}(l_1 + l_2)h = \frac{1}{2}l_1l_2\sin(180 - \varphi_{\max}) \quad (12)$$

где h – высота треугольника BCD_1 .

Отсюда перемещение центра тяжести молотка при его отклонении в момент удара запишется так:

$$h = \frac{l_1l_3 \sin \varphi_{\max}}{l_1 + l_3} \quad (13)$$

Переносная сила инерции:

$$F_u = m_k \omega^2 (l_1 + l_2) \quad (14)$$

Из уравнения (10), используя выражение (11), получаем:

$$\frac{J_{zz}\omega^2}{2} = n \cdot m_m \omega^2 (l_1 + l_2) \times \int_0^{\varphi_{\max}} \frac{l_1l_3}{(l_1 + l_2)} \sin \varphi d\varphi m_m \omega^2 l_1l_3 \times (1 - \cos \varphi_{\max}) \quad (15)$$

Отсюда:

$$\cos \varphi_{\max} = 1 - \frac{J_{zz}\omega_0^2}{2n \cdot m_m \omega^2 l_1l_3} \quad (16)$$

Используя выражение (9), получаем:

$$\cos \varphi_{\max} = 1 - \frac{2m_k^2(l_1 + l_2)^2(R + l_1 + l_2)^2}{J_{zz}n \cdot m_m l_1l_3} \quad (17)$$

Задаваясь размером куска, можно вычислить l_3 , а затем величину φ_{\max} – угол максимального отклонения молотка.

Определим глубину проникновения частицы материала в рабочую зону молотков с учетом [7]:

$$c = V_k t = \sqrt{2gh_c} \cdot t = \sqrt{2gh_c} \cdot \frac{2\pi}{k\omega}, \quad (18)$$

где k – количество рядов молотков.

Тогда

$$l_3 = \sqrt{(l_1 + l_2)^2 + l_2^2 - 2(l_1 + l_2)l_1 \cos \varphi} \quad (19)$$

Решая совместную систему уравнений (17) и (19) средствами математического пакета Mathcad получаем зависимость угла отклонения от количества молотков, жестко закрепленных на оси ротора, отображенную графически на рисунке 2.

Из анализа полученной зависимости следует, что роторные дробильно-измельчительные машины ударного действия с комбинированным креплением бил ротора, с точки зрения энергосбережения, являются более предпочтительными, чем молотковые машины с шарнирным креплением молотков. Причем, с увеличением фракционного состава материала, подаваемого на дробление, кинетическая энергия молотка, передаваемая кускам сырья, резко падает.

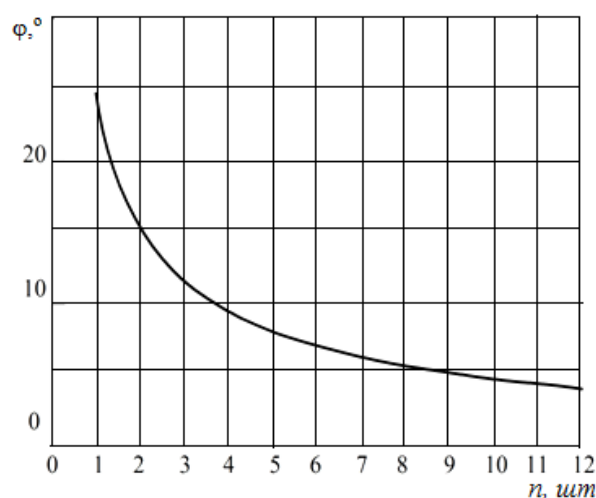


Рисунок 2 – График зависимости угла отклонения молотка от количества жестко закрепленных молотков на оси

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Угол отклонения шарнирно подвешенного молотка в молотковой дробилке существенно увеличивается при возрастании размера куска дробимого материала, а при комбинированном креплении, в зави-

симости от количества жестко закрепленных молотков, резко уменьшается.

2. Перспективным направлением дробления и измельчения, с точки зрения повышения качества известняка, является синтез новых конструкций дробилок, совмещаю-

щих в себе комбинацию жесткого крепления бил в процессе дробления материала при возможности их предохранения от разрушения, например, за счет потери жесткости при контакте с недробимыми телами.

Библиографический список

1. Миончинский П.Н. Производство комбикормов / П.Н. Миончинский, Л.С. Кожарова — М. : Агропромиздат, 1996. — 288 с.
2. Поздняков В.Д. Улучшение работы молотковой дробилки за счёт совершенствования её конструктивной схемы / В.Д. Поздняков, А.С. Кусаков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2011 — Вып. № 31–1. — Том 3.
3. Власенко Д.А. Эффективность дробления известняка в дробилках с вращающимся ротором при реализации различных способов воздействия на материал ударом / Д.А. Власенко // «Молодежь и XXI век -2016»: Материалы VI Международной молодежной научной конференции. — 2016. — С. 94–98.
4. Власенко Д.А. Способы снижения износа молотков дробилок ударного действия / Д.А. Власенко, Э.П. Левченко, Д.А. Вишневский, С.А. Красовский, А.А. Назаренко. // Современные материалы, техника и технологии. Научно-практический журнал. — 2016. — Вып. №2(5). — С. 63–69.
5. Технические характеристики молотковых дробилок [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://studopedia.org/1-114625.html>
6. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. — М. : Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1963. — 480 с.
7. Патент на корисну модель 59030 А МПК⁷ В 02 С 13/16. Спосіб подрібнення зерна та пристрій для його реалізації / Левченко Е.П., Кір'язев П.М.; заявник і патентовласник ДГМІ. — № 2002129841; заявл. 09.12.02; опубл. 15.08.03, Бюл. № 8. — 2 с.: іл.

Рекомендована к печати к.т.н., проф. ДонГТУ Ульяницким В.Н.,
д.т.н., проф. ЛТУ Харламовым Ю.А.

Статья поступила в редакцию 16.05.16.

Власенко Д.О., к.т.н. Левченко Е.П., Павлиненко О.І. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

АНАЛІЗ ВІДХИЛЕННЯ МОЛОТКА З КОМБІНОВАНИМ КРІПЛЕННЯМ БИЛ У ДРОБАРКАХ УДАРНОЇ ДІЇ

На підставі визначення взаємодії сил при взаємному контакті молотків з часткою вапняку наведені результати досліджень кута відхилення бил в молотковій дробарці в момент удару при порівняльному аналізі процесу дроблення з різною кількістю жорстко закріплених молотків в ряду і маси частинки матеріалу. В результаті досліджень виявлено залежність кута відхилення бил від кількості жорстко закріплених молотків на осі і від маси частинки вапняку.

Ключові слова: кут відхилення молотків, молоткова дробарка, била, розпорошення вапняку.

Vlasenko D.A., PhD in Engineering Levchenko E.P., Pavlinenko O.I. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

ANALYSIS OF HAMMERS DEFLECTION WITH COMBINED FASTENING OF BEATER RODS IN IMPACT CRUSHER

Basing on the interaction of forces at hammers reciprocal contact with lump lime particles there are shown the investigation results of the deflection angle of beater rods in hammer grinder at impact moment using the comparative analysis of grinding with various number of hard-mounted hammers in a line and a mass of material fraction. The investigations resulted in determining the dependence of deflection angle of beater rods on a number of hard-mounted hammers in axis and a mass of lump lime fractions.

Key words: angel of hammers deflection, hammer grinding, beater rod, lump lime dispersion.

УДК 531.31.15+669

Мороз В.В.,
к.т.н. Левченко Э.П.,
к.т.н. Левченко О.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОДНОВАЛКОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ДРОБИЛКИ

Проанализированы основные конструктивные и технологические параметры одновалковой зубчатой дробилки горячего агломерата. Уточнены и дополнены некоторые зависимости для расчета показателей работы дробилки. Определены производительность, скорость движения пирога по наклонной направляющей и частота вращения ротора.

Ключевые слова: одновалковая зубчатая дробилка, анализ, конструктивные и технологические параметры, производительность.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В подавляющем большинстве, на предприятиях черной металлургии, при дроблении агломерационного пирога, полученного в результате спекания железной руды, применяются одновалковые зубчатые дробилки, отличающиеся простотой и надежностью [1-3]. Расчет основных параметров таких машин ведется по известным методикам [4], которые, однако, являются несколько упрощенными и не учитывают всей специфики технологии дробления и конструктивных нюансов технического исполнения. Поэтому, при совершенствовании подобных машин часто возникает необходимость в более точных расчетах, учитывающих особенности конструкций модернизируемых одновалковых зубчатых дробилок.

Научно-практической задачей такой модернизации является повышение качества фракционного состава готового продукта, отвечающего технологическим требованиям доменной плавки, что в применяемых конструкциях дробилок достичь в полной мере не представляется возможным. При этом попутно могут решаться и вспомогательные задачи, например, по повышению производительности дробления, снижению удельных расходов электроэнергии, повышению надежности (сохранение существующей надежности при из-

менении конструкции) и долговечности деталей и др.

Постановка задачи. Задачей данной работы является уточнение технологических и конструктивных параметров, используемых для расчета основных показателей работы одновалковой зубчатой дробилки горячего агломерата.

Изложение материала и его результаты. Производительность зубчатой дробилки для агломерата определяют по формуле, одинаковой для двух- и одновалковой дробилок [4, 5]:

$$Q_d = 60\pi D n B s \rho \varphi, \text{ т/ч}, \quad (1)$$

где D – диаметр звездочек, м; n – частота вращения вала, об/мин; B – рабочая длина вала, м; S – размер разгрузочной щели между ступицами и зубьями звездочек для двухвалковых дробилок или между ступицами звездочек и колосниками одновалковых дробилок, м; ρ – плотность агломерата, т/м³; φ – коэффициент производительности, учитывающий разрыхление агломерата и использование длины вала ($\varphi = 0,2 - 0,6$).

Для гарантирования непрерывности технологического процесса окучивания железной руды производительность дробилки должна быть равной или превышать производительность агломашины $Q_d \geq Q_{ам}$:

$$Q_{ам} = 60hBV_n\rho_{ш}k_z, \text{ т/ч}, \quad (2)$$

где h – высота слоя шихты, м; B – ширина машины, м; $V_{\text{п}}$ – скорость движения паллет, м/мин; $\rho_{\text{ш}}$ – плотность насыпного слоя шихты, т/м³; k_z – коэффициент выхода годного агломерата.

Плотность агломерата и шихты равна, соответственно, 1,65-1,85 и 1,76-2,10 т/м³ или в удельном соотношении 0,88-0,93.

С учетом фактического диаметра звездочки ротора $D=1,3$ м, приравняв формулы (1) и (2), получим частоту вращения:

$$n \geq 0,21 \frac{hV_{\text{п}}k_z}{s\varphi}, \text{ об/мин.} \quad (3)$$

На территории постсоветского пространства выпускаются агломерационные машины производительностью до 540 т/ч со скоростью движения паллет 1–6 м/мин. [6]. На ПАО «Алчевский металлургический комбинат» («АМК») скорость движения паллет составляет от 1,4 до 1,8 м/мин.

При установленных в условиях ПАО «АМК» параметрах (высоте спекания пирога 0,32 м, выходе годного агломерата 0,85, размера разгрузочной щели 0,4 м и варьируемых значениях коэффициента производительности от 0,2 до 0,6) зависимость частоты вращения вала от скорости подачи аглоспека в дробилку представлена на рисунке 1.

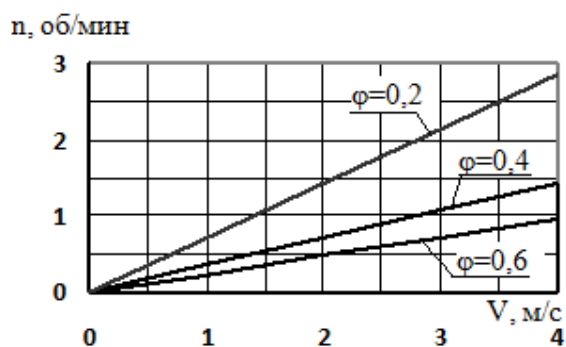


Рисунок 1 – Зависимость частоты вращения вала от скорости паллет

Мощность приводного электродвигателя приближенно рассчитывается по формуле [6]:

$$N_{\text{ов}} = k_n B D n, \text{ кВт}, \quad (4)$$

где k_n – опытный коэффициент, для агломерата средней прочности может быть принят равным 2.

Более точным является метод расчета мощности дробления [5] по методике И. Д. Костогрызова и В. В. Горностаева (Магнитогорский горно-металлургический институт), учитывающий прочность агломерата.

В применении к дробилкам с колосниковой решеткой этот метод предусматривает следующую схему разрушения агломерата (рис. 2).

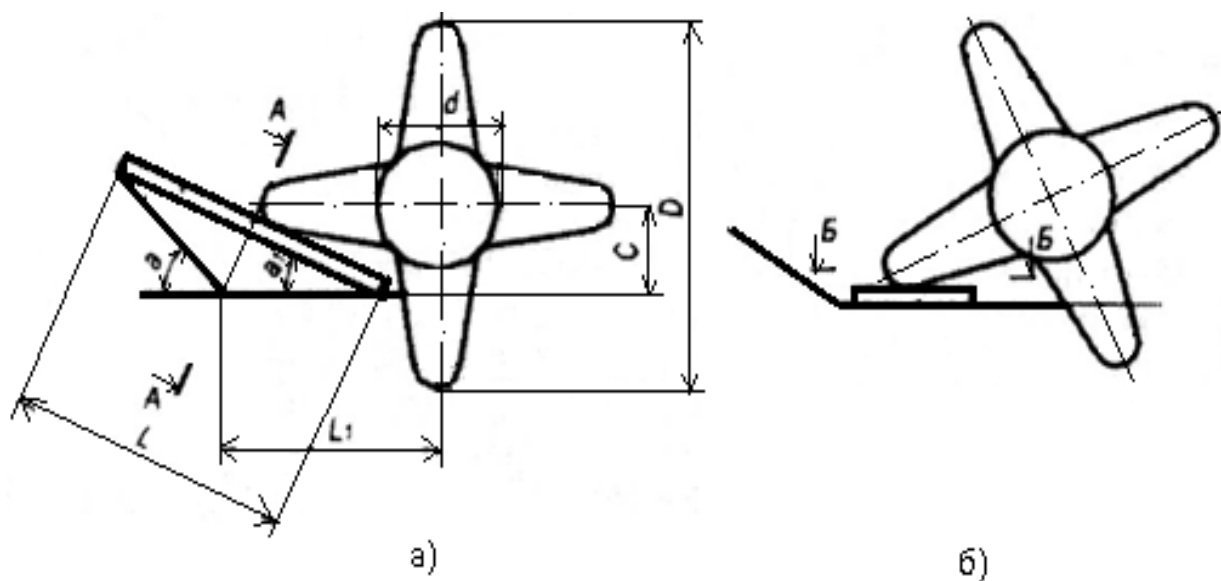


Рисунок 2 – Схема разрушения аглоспека в одновалковой зубчатой дробилке

Пирог агломерата с шириной B (мм), толщиной h (мм) и длиной L (мм), опирающийся передним по движению концом на колосниковую решетку, задним концом – на наклонную плиту, разламывается зубьями звездочек сначала на две равные части длиной $L/2$ по сечению А-А. Затем одна половина пирога дробится на колосниках теми же зубьями звездочки, которые разломали пирог, вторая половина дробится зубьями, расположенными со сдвигом на 90° (при четырехзубой звездочке без смещения).

Для реального осуществления такой схемы дробления агломерата необходимо обеспечить следующие соотношения параметров дробилки:

$$D = L + (100 \div 150), \text{ мм}, \quad (5)$$

где D – наружный диаметр звездочек по зубьям, мм.

Расстояние от плоскости колосниковой решетки до оси вала C (мм) должно удовлетворять условию:

$$C = h + \frac{d}{2} + (50 \div 100), \text{ мм}, \quad (6)$$

где d – наружный диаметр ступицы звездочки, мм.

Рекомендуется выдерживать соотношение $C \approx D$.

Угол наклонной плиты к горизонту α определяется из условия равновесия пирога, один конец которого скользит по наклонной плите, другой – по колосникам под действием силы тяжести в момент пересечения середины пирога с траекторией движения концов зубьев звездочек.

При этом:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha}{2}, \quad (7)$$

где α_1 – угол наклона пирога к горизонту в момент равновесия.

При коэффициенте трения агломерата по стали $f = 0,364$, что соответствует углу трения $\varphi = \arctg f = 20^\circ$, значение угла α получено решением уравнения равновесия ($\alpha \geq 45^\circ$).

Основной нагрузкой при такой схеме дробления является изгибающий момент в плоскости разламывания пирога, необходимый для его разрушения:

$$M_{изг} = W\sigma, \quad (8)$$

где W – момент сопротивления сечения пирога изгибу; σ – предел прочности агломерата (для агломерата средней прочности $\sigma = 0,07 - 0,25$ (МПа)).

При разламывании пирога на колосниках по сечению А-А пополам:

$$W_1 = \frac{1}{6} Bh^2, \quad (9)$$

при дроблении половины пирога на колосниках по сечению Б-Б:

$$W_2 = \frac{1}{12} Lh^2. \quad (10)$$

Крутящие моменты, требуемые для разрушения агломерата на первой и второй стадиях дробления, определяются в зависимости от соотношений геометрических параметров дробилки и количества зубьев на звездочке, равного 3, 4 и 6.

Момент холостого хода:

$$M_{xx} = \frac{1}{2} Gf_2 d_n, \quad (11)$$

где G – сила тяжести дробильного вала; f_2 – приведенный коэффициент скольжения в подшипниках опор; d_n – средний диаметр подшипника.

Крутящий момент двигателя привода определяется как среднеквадратичный по условиям нагрева при работе в продолжительном номинальном режиме:

$$M_{cp} = \sqrt{\frac{M_{kp1}^2 t_1 + M_{kp2}^2 t_2 + M_{xx}^2 t_{xx}}{t_u}}, \quad (12)$$

где t_1 , t_2 , t_{xx} – соответственно время действия моментов M_{kp1} , M_{kp2} , M_{xx} ; t_u – время цикла дробления пирога:

$$t_u = \frac{30}{n}, \quad (13)$$

где n – частота вращения вала, об./мин.

Для согласования работы дробилки с работой агломашины при скорости движения спекательных тележек необходимо соблюсти условие:

$$n_{\min} = 2000 \frac{V}{Lz}, \quad (14)$$

где z – количество зубьев на звездочке (при установке звездочек на валу без смещения).

При стандартных размерах спекательных тележек $L = 1$ м у машин площадью спекания 50–160 м² и $L = 1,5$ м у машин площадью спекания 312 м² и более, при шестизубых звездочках ($z = 6$) для машин до 160 м² с максимальной скоростью 6 м/мин $n_{\min} = 2$ об./мин (валки дробилки совершают 3,2 и 4,6 об./мин), для машины 312 м² с максимальной скоростью 7,5 м/мин $n_{\min} = 1,7$ об./мин (дробилка совершает 3 об./мин).

Требуемая мощность двигателя привода аглодробилки:

$$N_{\text{дв}} = \frac{k_c M_{\text{ср}} \omega}{\eta}, \quad (15)$$

где k_c – коэффициент, учитывающий степень самостоятельного дробления агломерата при падении на колосниковую решетку, зависящий от свойств агломерата (для агломерата средней прочности $k_c = 0,6–0,7$); ω – угловая скорость вращения вала; η – полный коэффициент полезного действия привода.

Недостатком приведенной методики расчета параметров валковой зубчатой дробилки является то, что она не учитывает толщину колосников и зубьев звездочек, а также расстояние между колосниками, которые оказывают значительное влияние на мощность применяемого электродвигателя и износ рабочих органов дробилки.

При скольжении пирога аглоспека по наклонной направляющей его начальная скорость движения соответствует скорости перемещения спекательных тележек агло-

машины. Однако, в дальнейшем, происходит его разгон, и скорость увеличивается за счет угла наклона и длины направляющей. Поэтому недостатком применяемых методик является то, что за скорость движения пирога по направляющей принимается скорость движения паллет.

Фактическое значение скорости пирога определяется по формуле [6]:

$$V = 2V_n \sin \alpha + \sqrt{V_n^2 \sin^2 \alpha + (\sin \alpha - f \cos \alpha) 2g L_n}, \quad (16)$$

где f – коэффициент трения скольжения агломерата о сталь ($f = 0,364 - 0,55$ [7, 8]); $g = 9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ – ускорение силы тяжести; L_n – длина наклонной направляющей.

Применительно к производству ПАО «АМК» для агломерата длиной 1 м и минимального коэффициента трения результаты расчетов скорости его движения по наклонной направляющей длиной 1,8 м, в зависимости от угла наклона, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Скорость аглоспека

Угол установки наклонной направляющей, α , °	Скорость движения паллет, V_n , (м/мин.) м/с	Скорость движения аглоспека по наклонной направляющей, V , м/с
20	(1) 0,017	0,464
	(2) 0,033	0,653
	(3) 0,050	0,811
	(4) 0,067	0,945
30	(1) 0,017	2,630
	(2) 0,033	2,699
	(3) 0,050	2,772
	(4) 0,067	2,843
40	(1) 0,017	3,660
	(2) 0,033	3,731
	(3) 0,050	3,804
	(4) 0,067	3,877
50	(1) 0,017	4,414
	(2) 0,033	4,487
	(3) 0,050	4,565
	(4) 0,067	4,642

Первостепенное влияние на скорость скольжения пирога агломерата по направляющей оказывает угол ее наклона.

Поставив (16) в (14), получим формулу (17):

$$n_{\min} = 2000 \frac{2V_h \sin \alpha + \sqrt{V_h \sin \alpha + (\sin \alpha - f \cos \alpha) 2g L_n}}{Lz} \quad (17)$$

Уточним время цикла дробления аглопирога, которое в известной методике расчета задается как показано ниже.

Размер захвата агломерата зубьями ротора задается временем поворота ротора на угол между двумя зубьями с учетом высоты пирога агломерата.

Время поворота ротора на 1 зуб звездочки определяется как [9]:

$$t_u = \frac{2\pi}{z\omega} = \frac{60}{zn}, \text{ мин}, \quad (18)$$

где ω – угловая скорость вращения вала ротора.

С учетом толщины зуба звездочки, время поворота ротора на расстояние между зубьями составит:

$$t_u = \frac{2\pi}{z\omega} - \frac{\beta}{\omega}, \quad (19)$$

где β – центральный угол зуба звездочки. Центральный угол зуба:

$$\beta = 2 \arctg \frac{B_3}{2R_3}, \quad (20)$$

где B_3 – толщина зуба; R_3 – радиус звездочки ротора.

В данном случае принято, что ось ротора расположена симметрично движению пирога агломерата.

Тогда, с учетом толщины пирога h , захват агломерата зубьями может быть осуществлен на различном расстоянии от оси звездочки, определяемом скоростью движения агломерата.

Обозначив расстояние от оси звездочки до места захвата радиусом R_3 , центральный угол γ , связанный с высотой агломерата и радиусом R_3 , определяется следующим выражением [6].

$$\gamma = 2 \arctg \frac{h}{2R_3}. \quad (21)$$

Время, в течение которого зубья не препятствуют движению агломерата [6]:

$$t_u = \frac{2\pi}{z\omega} - \frac{\beta}{\omega} - \frac{\gamma}{\omega} = \frac{1}{\omega} \left(\frac{2\pi}{z} - \beta - \gamma \right). \quad (22)$$

Или, с учетом (19), (20) и что $\omega = \pi n / 30$:

$$t_u = \frac{30}{\pi n} \left(\frac{2\pi}{z} - 2 \arctg \frac{B_3}{D} - 2 \arctg \frac{h}{D} \right). \quad (23)$$

Для получения кусков дробленого агломерата оптимальных для доменной плавки размеров их крупность должна быть в диапазоне от 50 до 80 мм.

Таким образом, величина захвата пирога зубом звездочки может определиться как расстояние консоли от торца пирога, поступающего под действие зубьев звездочек, до конца снимающего ножа (наклонной плоскости скольжения пирога):

$$B_k = V \cdot t_u. \quad (24)$$

Подставив в выражение (24) значение скорости (16) и время цикла дробления (24), получим:

$$B_k = \left(2V_h \sin \alpha + \sqrt{V_h \sin \alpha + (\sin \alpha - f \cos \alpha) 2g L_n} \right) \times \frac{30}{\pi n} \left(\frac{2\pi}{z} - 2 \arctg \frac{B_3}{D} - 2 \arctg \frac{h}{D} \right). \quad (25)$$

Результаты расчетов, выполненных по формуле (25), приведены ниже в таблице 2 для различных значений частот вращения звездочек ротора и скоростей подачи аглопирога в рабочее пространство одновалковой зубчатой дробилки. При этом также изучалось влияние углов наклона направляющей на предполагаемую крупность готового агломерата. При расчетах скорость движения по наклонной направляющей бралась по таблице 1. Основные конструктивные и технологические параметры соответствуют принятым на производстве: диаметр звездочки $D=1,3$ м, толщина зуба $B_3=0,3$ м, высота пирога $h=0,32$ м.

МЕХАНИКА

Таблица 2 – Влияние основных параметров на частоту вращения ротора

Величина отделяемых кусков, м	Скорость движения паллеты, м/мин.	Частота вращения звездочки, об./мин.					
		4 зуба			6 зубьев		
		без учета наклона направляющей с учетом толщины зуба	с учетом наклона направляющей без учета толщины зуба	с учетом толщины зуба и наклона направляющей	без учета наклона направляющей с учетом толщины зуба	с учетом наклона направляющей без учета толщины зуба	с учетом толщины зубьев и наклона направляющей
Угол установки наклонной направляющей, α = 20°							
0,050	0,017	2,0	139,2	53,9	1,9	98,6	46,9
	0,033	3,9	195,9	76,9	3,6	130,6	72,3
	0,050	6,8	243,3	95,4	5,5	162,2	89,7
	0,067	7,9	238,5	111,2	7,4	189,0	104,5
0,065	0,017	1,5	107,1	42,9	1,4	71,4	40,3
	0,033	3,0	150,7	59,1	2,8	100,5	55,6
	0,050	4,62	187,2	74,86	4,3	124,8	70,4
	0,067	6,1	218,1	85,5	5,7	145,4	80,4
0,080	0,017	1,3	87,0	34,1	1,2	25,5	32,1
	0,033	2,4	122,4	48,0	2,3	81,6	45,1
	0,050	3,7	152,1	59,6	3,45	101,4	55,7
	0,067	4,9	177,2	69,5	4,6	118,1	65,3
Угол установки наклонной направляющей, α = 30°							
0,050	0,017	2,0	789,0	309,4	1,9	526,0	290,8
	0,033	3,9	809,7	316,7	3,6	539,8	297,7
	0,050	6,8	831,6	326,1	5,5	554,4	306,5
	0,067	7,9	852,9	334,5	7,4	568,6	314,4
0,065	0,017	1,5	606,9	238,0	1,4	404,6	223,7
	0,033	3,0	622,9	244,2	2,8	415,2	229,6
	0,050	4,62	639,7	250,9	4,3	426,5	235,9
	0,067	6,1	656,1	257,3	5,7	437,4	241,9
0,080	0,017	1,3	493,1	193,4	1,2	328,8	181,8
	0,033	2,4	506,1	198,4	2,3	337,4	186,5
	0,050	3,7	519,8	200,2	3,2	346,5	188,2
	0,067	4,9	533,1	209,0	4,6	355,4	196,5
Угол установки наклонной направляющей, α = 40°							
0,050	0,017	2,0	1098,0	420,8	1,9	732,0	395,6
	0,033	3,9	1119,3	438,9	3,6	746,2	412,6
	0,050	6,8	1141,2	447,8	5,5	760,8	420,1
	0,067	7,9	1163,1	456,4	7,4	775,4	429,0
0,065	0,017	1,5	844,6	331,3	1,4	563,1	311,4
	0,033	3,0	861,0	337,7	2,8	574,0	317,4
	0,050	4,62	877,9	344,2	4,3	585,2	323,6
	0,067	6,1	894,7	350,9	5,7	596,5	329,9
0,080	0,017	1,3	686,25	269,1	1,2	457,5	253,0
	0,033	2,4	699,6	274,6	2,3	466,4	258,1
	0,050	3,7	713,3	279,7	3,5	475,5	262,9
	0,067	4,9	726,9	285,1	4,6	484,6	268,0

Анализ полученных результатов расчетов показывает, что общепринятая методика определения основных параметров одновалковой зубчатой дробилки недостаточно точно отражает согласование подачи аглопирога с частотой вращения ротора. При этом разница фактических значений, с учетом разгона пирога по наклонной направляющей, на 2-3 порядка больше, чем без учета такого наклона по общепринятой методике.

Выявлено, что основополагающим фактором является угол наклона направляющей, изменение которого оказывает существенное влияние на процесс подачи агломерата и последующего внутрикамерного его дробления.

Для поддержания оптимального значения крупности откалываемых от агломерационного пирога кусков, скорость подачи спека в дробилку должна соответствовать скорости движения спекательных тележек (паллет) агломашины, при этом направляющая для снятия пирога с паллет должна быть горизонтальной или пирог может тормозиться, например, специальными ограничительными упорами.

Иным вариантом достижения необходимой крупности дробленого агломерата является повышение частоты вращения звездочек до значений, приведенных в таблице 2. Однако, при таком подходе, складываются совершенно иные, отличные условия разрушения, когда преобладающую роль играют ударные нагрузки с образованием большого количества частиц мелких фракций. Кроме того, повышенная скорость вращения ротора может привести к тому, что зубья звездочек будут создавать значительный вентиляционный эффект, что может существенно повысить концентрацию пыли в производственных помещениях агломерационного цеха.

Таким образом, несмотря на кажущиеся преимущества повышения частоты вращения ротора дробилки, на практике такой подход является нежелательным и вряд ли может быть востребованным в производстве агломерата.

Выводы и направление дальнейших исследований.

Рассмотрены и проанализированы основные параметры, характеризующие технологический процесс дробления агломерата в одновалковой зубчатой дробилке. Результаты анализа показывают, что типовая методика расчетов не учитывает увеличения скорости подачи пирога в дробилку, вызванной наклоном направляющей. При этом фактическое приращение скорости превышает скорость спекательных тележек на величину более чем в 200 раз, что является одним из факторов образования при дроблении кусков повышенной крупности.

Поддержание оптимальной величины дробленых кусков, в оптимальном диапазоне крупности, возможно достичь путем конструктивных изменений: например, за счет горизонтального расположения наклонной направляющей или торможения пирога при подаче в дробилку, а также изменения конструкции внутри рабочей камеры машины, в том числе, с целью создания многоступенчатого наложения усилий дробления. Результаты численных расчетов могут быть применены при выборе рациональных геометрических параметров оборудования для дробления агломерата.

В дальнейших исследованиях планируется изучение различного наложения усилий на агломерационный пирог и влияние многоступенчатой схемы дробления за счет применения колосников усовершенствованной конструктивной формы и геометрии рабочих поверхностей.

Библиографический список

1. Мищенко И.М. Состояние и основные направления повышения технического уровня агломерационного производства предприятий черной металлургии / И.М. Мищенко // *Металлургические процессы и оборудование*. — 2005. — № 1. — С. 23–26.

2. Левченко О.А. Состояние и основные направления развития технического уровня конструкций одновалковых зубчатых дробилок / О.А. Левченко, А.М. Зинченко, Э.П. Левченко // *Металлургические процессы и оборудование*. — 2011. — № 1. — С. 24–29.
3. Еронько С.П. Моделирование процесса измельчения материала на одновалковой зубчатой дробилке / С.П. Еронько, О.А. Левченко, Р.А. Удинцов // *Металлургические процессы и оборудование*. — 2012. — № 1. — С. 17–24.
4. Гребеник В.М. Механическое оборудование металлургических заводов. Механическое оборудование фабрик окискования и доменных цехов: учебн. для вузов / В.М. Гребеник, Д.А. Сторожик, Л.А. Демьянец и др. — К. : Выща школа, 1985. — 312 с.
5. Жилкин В.П. Производство агломерата, оборудование, автоматизация / В.П. Жилкин, Д.Н. Доронин. — Екатеринбург : Уральский центр ПР и рекламы, 2004. — 292 с.
6. Левченко О.А. Повышение эффективности дробления агломерата путем усовершенствования конструктивных параметров одновалковой зубчатой дробилки: дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: 05.05.08 «Машины для металлургического производства» / О.А. Левченко. — Донецк, 2009. — 176 с.
7. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации / Е.Ф. Вегман. — М. : Металлургия, 1974. — 288 с.
8. Борискин И.К. Интенсивная механическая обработка агломерата. Теория, оборудование, технология / И.К. Борискин, Г.А. Арыков, А.Н. Пыриков. — М. : МИСИС, 1998. — 248 с.
9. Пат. 59030 А МПК⁷ В 02 С 13/16. Спосіб подрібнення зерна та пристрій для його реалізації / Левченко Е.П., Кір'язєв П.М.; заявник і патентовласник ДГМІ. — № 2002129841; заявл. 09.12.02; опубл. 15.08.03, Бюл. № 8. — 2 с.: іл.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. Ульяницким В.Н.,
д.т.н., проф. ДонНТУ Еронько С.П.**

Статья поступила в редакцию 16.05.16.

Мороз В.В., к.т.н. Левченко Е.П., к.т.н. Левченко О.О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ОДНОВАЛКОВОЇ ЗУБЧАСТОЇ ДРОБАРКИ

Проаналізовано основні конструктивні та технологічні параметри одновалкової зубчастої дробарки гарячого агломерату. Уточнено та доповнено деякі залежності з розрахунку показників роботи дробарки. Визначено продуктивність, швидкість руху пирога по похилій направляючій та частота обертання ротору.

Ключові слова: одновалкова зубчаста дробарка, аналіз, конструктивні та технологічні параметри, продуктивність.

Moroz V.V., PhD in Engineering Levchenko E.P., PhD in Engineering Levchenko O.A. (Don-STU, Alchevsk, LPR)

PARAMETRIC ANALYSES OF SINGLE-SPINDLE ROLL CRUSHER

The main design and technological parameters of single-spindle roll crusher of hot agglomerate have been analyzed. Some dependence for calculating the operation criteria of a crusher were defined and completed. The capacity and the cake motion speed down inclined guide and frequency of rotor spinning were determined.

Key words: roll crusher, analysis, design and technological parameters, capacity.

ЭКОНОМИКА

УДК: 371.3

д.э.н. Гришко Н.В.,
к.э.н. Кунченко А.В.,
Куденко М.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «УЧЕТ И АУДИТ»

Исследован процесс выполнения самостоятельной работы студентов специальности «Учет и аудит». Выявлены сложности и предложены направления улучшения организации самостоятельной работы студентов и схема действий преподавателей при проведении самостоятельной подготовки студентов.

Ключевые слова: организация, руководство, самостоятельная работа, сложность, нормы времени, схема действий.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Самостоятельная работа – это вид учебной деятельности, выполняемый студентами без непосредственного контакта с преподавателем; обязательное звено процесса обучения, предусматривающее прежде всего индивидуальную работу студентов в соответствии с установкой преподавателя и программы обучения. В современной дидактике самостоятельная работа студентов рассматривается как средство вовлечения студентов в самостоятельную познавательную деятельность и формирования у них методов организации такой деятельности. Основная проблема в организации самостоятельной работы студента специальности «Учет и аудит» заключается в том, что частая смена законодательной базы, отсутствие современных учебников, загруженность студентов дополнительными заданиями, не имеющими отношения к учебному процессу, отсутствие норм и единых требований и другое не позволяют достаточно эффективно использовать время, выделенное на самостоятельную подготовку.

Анализ исследований и публикаций. Исследованиями вопросов по организации учебного процесса, и в т.ч. самостоятельной работы, занимались такие ученые, как: А.С. Зенкин, В.М. Кирдяев, Ф.П. Пильгаев, А.П. Лаш, Е.Д. Жукова, Э.Ф. Зеер, А.И. Кагарманова, Р.Л. Солсо, А.М. Алтайцев, В.В. Наумов и др.

В указанных работах рассматриваются вопросы самостоятельной работы студентов (СРС) в современном университете: её формы и содержание [1]; принципы организации [2]; тенденции развития образовательной ситуации в высшем образовании [3]; психологические условия успешности СРС [4]; использование модели Уоллеса, описывающей творческий процесс и включающей четыре составляющих (1. Подготовка: формулировка задачи и начальные попытки ее решения. 2. Инкубация: отвлечение от задачи и переключение на другой предмет. 3. Просветление: интуитивное проникновение в суть задачи. 4. Проверка: испытание или реализация решения) [5]; модели организации учебных материалов и средств дистанционного обучения [6, 7, 8, 9]. Но вопросы, связанные с обучением студентов в переходный период (изменение политической обстановки, международных и региональных стандартов и прочих внешних факторов), требуют усовершенствования организации СРС. Это свидетельствует об актуальности исследования с практической точки зрения.

Постановка задачи. Задачей данной работы является усовершенствование организации самостоятельной работы студентов на основе норм времени и схемы действий преподавателя при ее проведении.

Изложение материала и его результаты. В процессе самостоятельной деятельности студент должен научиться выделять по-

знавательные задачи, выбирать способы их решения, выполнять операции контроля за правильностью решения поставленной задачи, совершенствовать навыки реализации теоретических знаний. Формирование умений и навыков самостоятельной работы студентов может протекать как на сознательной, так и на интуитивной основе. В первом случае исходной базой для правильной организации деятельности служат ясное понимание целей, задач, форм, методов работы, сознательный контроль за ее процессом и результатами. Во втором случае преобладает смутное понимание, действие привычек, сформировавшихся под влиянием механических повторений, подражание и т.п.

Самостоятельная работа студента под руководством преподавателя протекает в форме делового взаимодействия: студент получает непосредственные указания, рекомендации преподавателя об организации самостоятельной деятельности, а преподаватель выполняет функцию управления, используя учет, контроль и коррекцию ошибочных действий. Опираясь на современную дидактику, преподаватель должен установить требуемый тип самостоятельной работы студентов и определить необходимую степень ее включения в изучение своей дисциплины.

Непосредственная организация самостоятельной работы студентов протекает в два этапа. Первый этап – это период начальной организации, требующий от преподавателя непосредственного участия в деятельности обучаемых, с выявлением и указанием причин появления ошибок. Второй этап – период самоорганизации, когда не требуется непосредственного участия преподавателя в процессе самостоятельного формирования знаний студентов.

В организации СРС особенно важно правильно определить объем и структуру содержания учебного материала, выносимого на самостоятельную проработку, а также необходимое методическое обеспечение. Последнее, как правило, включает программу работ (проведение наблюдений, изучение первоисточников и т. п.), варианты задачи,

нестандартные индивидуальные задания для каждого студента, инструментарий для их выполнения. Применяемые сейчас различные методические пособия по самостоятельной работе студентов носят обычно информационный характер. Студента же необходимо ориентировать на творческую деятельность в контексте дисциплины. Следовательно, нужны принципиально новые методические разработки.

Учитывая вышеуказанные положения, можно выделить сложности в организации СРС и направления ее усовершенствования (рис. 1).

По частно-дидактической цели можно выделить четыре типа самостоятельных работ.

1-й тип. Формирование у обучаемых умений выявлять во внешнем плане то, что от них требуется, на основе данного им алгоритма деятельности и посылок на эту деятельность, содержащихся в условии задания. Познавательная деятельность обучаемых при этом состоит в узнавании объектов данной области знаний при повторном восприятии информации о них или действий с ними.

В качестве самостоятельных работ этого типа чаще всего используются домашние задания: работа с учебником, конспектом лекций и др. Общим для самостоятельных работ первого типа является то, что все данные искомого, а также сам способ выполнения задания обязательно должны представляться в явном виде или непосредственно в самом задании, или в соответствующей инструкции.

2-й тип. Формирование знаний-копий и знаний, позволяющих решать типовые задачи. Познавательная деятельность обучаемых при этом заключается в чистом воспроизведении и частичной реконструкции, преобразовании структуры и содержания усвоенной ранее учебной информации, что предполагает необходимость анализа данного описания объекта, различных путей выполнения задания, выбора наиболее правильных из них или последовательного определения логически следующих друг за другом способов решения.

К самостоятельным работам такого типа относятся отдельные этапы лабораторных работ и практических занятий, типовые курсовые проекты, а также специально подготовленные домашние задания с предписаниями алгоритмического характера. Особенность работ этой группы заключается в том, что в задании к ним необходимо сообщать идею, принцип решения и выдвигать к обучаемым требование развивать этот принцип или идею в способ (способы) применительно к данным условиям.

3-й тип. Формирование у обучаемых знаний, лежащих в основе решения нетиповых задач. Познавательная деятельность обучаемых при решении таких задач заключается в накоплении и проявлении во внешнем плане нового для них опыта на базе усвоенного ранее формализованного опыта (действий по известному алгоритму) путем переноса знаний, навыков и умений. Задания этого типа предполагают поиск, формулирование и реализацию идеи решения, что всегда выходит за пределы прошлого формализованного опыта и требует от обучаемого варьирования условий задания и усвоенной ранее учебной информации, рассмотрения их под новым углом зрения. Самостоятельные работы третьего типа должны выдвигать требование анализа незнакомых обучаемым ситуаций и генерирования субъективно новой информации. Типичными для самостоятельной работы студентов третьего типа являются курсовые и дипломные проекты.

4-й тип. Создание предпосылок для творческой деятельности. Познавательная деятельность обучаемых при выполнении этих работ заключается в глубоком проникновении сущности изучаемого объекта, установлении новых связей и отношений, необходимых для нахождения новых, неизвестных ранее принципов, идей, генерирования новой информации. Этот тип самостоятельных работ реализуется обычно при выполнении заданий научно-исследовательского характера, включая курсовые и дипломные проекты.

Планируя самостоятельную работу по тому или иному курсу, прежде всего, необходимо выделить так называемое фундаментальное древо, включающее в себя ту

основную систему методологического, теоретического знания, которую нужно вынести на обязательную лекционную проработку. Так, из 108-часового курса фундаментальный объем его займет половину. Далее в качестве производных от этого «фундаментального древа» предлагается образовывать разнообразные виды самостоятельной работы студентов, предусмотрев для них темы, характер изучения, формы, место проведения, вариативные способы реализации, систему контроля и учета, а также различные приемы отчетности.

Успешность самостоятельной работы в первую очередь определяется степенью подготовленности студента. По своей сути самостоятельная работа предполагает максимальную активность студентов в различных аспектах: организации умственного труда, поиске информации, стремлении сделать знания убеждениями. Психологические предпосылки развития самостоятельности студентов заключаются в их успехах в учебе, положительном к ней отношении, заинтересованности и увлеченности предметом, понимании того, что при правильной организации самостоятельной работы приобретаются навыки и опыт творческой деятельности.

Одним из условий регуляции активности человека, как основной предпосылки успешности любого вида деятельности, является психическое саморегулирование, представляющее собой замкнутый контур регулирования. Это информационный процесс, носителями которого служат различные психические формы отражения действительности. Общие закономерности саморегулирования в индивидуальной форме, зависят от конкретных условий, а также от характера нервной деятельности, личностных качеств человека и его системы организации своих действий, формируются в процессе воспитания и самовоспитания. Создавая систему самостоятельной работы студентов необходимо, во-первых, научить их учиться (это следует делать с первых занятий в вузе, например, в курсе введения в специальность) и, во-вторых, ознакомить с психофизиологическими основами умственного труда, техникой его научной организации.



Рисунок 1 – Организация самостоятельной работы студентов

Напряженность учебного труда особенно возрастает в условиях быстрого переключения с одного вида учебной деятельности на другой. Высокая степень умственного напряжения при низкой двигательной активности может повлечь за собой своеобразную патологию – изменения вегетативных функций (усиление частоты сердечных сокращений), повышенное кровяное давление, гормональные сдвиги, а иногда и резкие изменения, доходящие до состояния стресса. Умственные перегрузки, особенно в ситуациях, когда студент занимается самостоятельно без контроля преподавателя, могут привести к истощению нервной системы, ухудшению

памяти и внимания, потере интереса к учебе и общественной работе. Справиться с умственными перегрузками помогают физические упражнения, рациональное питание, правильный режим учебного труда, использование рациональных приемов работы.

Применительно к организации самостоятельной работы как преподавателю, так и студентам полезно знать сформулированные крупнейшим русским ученым Н.А. Введенским (1852–1922) правила рациональной организации умственной работы:

1. Входить в работу нужно не сразу, не рывком, а постепенно втягиваясь в нее.

2. Необходимо выработать ритм труда, равномерное распределение работы на протяжении всего дня, недели, месяца и года.

3. Нужно соблюдать последовательность в решении всяких дел.

4. Разумно сочетать чередование труда и отдыха.

5. Наконец, важным правилом плодотворной умственной деятельности является общественное значение труда.

Со временем навыки культуры умственного труда переходят в привычки и становятся естественной потребностью личности. Внут-

ренняя собранность есть результат четко организованного режима труда, волевых проявлений и систематического самоконтроля.

Однако грамотное руководство работой современных студентов невозможно без определенной научно-обоснованной системы. Несмотря на то, что законодательно закреплены нормы времени на выполнение студентами основных видов самостоятельной работы, в многолетней практике высшей школы сложились некоторые усредненные показатели (табл. 1).

Таблица 1 – Усредненные показатели выполнения самостоятельной работы студентов

Виды самостоятельной работы	Нормы времени	
	Студенты 1 курса	Студенты старших курсов
1. Чтение общей литературы, стр. в час	18	22-25
2. Чтение литературы по специальности, стр. в час	14	18
3. Конспектирование, стр. в час	5-6	7-8
4. Поиск и выделение цитирования, строк в час	10	20
5. Выполнение домашней контрольной работы, час.	до 10	до 6
7. Выполнение курсовой работы, час	до 100	до 70

К сожалению, нередко между преподавателями различных кафедр возникает негласное соревнование: кто больше задает студентам. В целях упорядочения СРС предложены коэффициенты самостоятельной работы по основным группам дисциплин как частное от деления времени, затраченного на самостоятельную работу по предмету, на общее время, отведенное на изучение предмета учебным планом:

общественные дисциплины – 0,3;
 профильные дисциплины – 0,6;
 дисциплины специальности – 1,0;
 иностранный язык – 0,6. Справедливое использование этих и

других нормативов позволит избежать необоснованности заданий и перегрузки

студентов. Видимо, надо согласиться с тем, что студенты все равно не выполняют всего задания или будут заниматься одним предметом за счет другого.

К.Д. Ушинский отмечал, что «обучаемые по возможности учились самостоятельно, а обучающий должен руководить этим самостоятельным трудом и давать для него материал».

Выводы и направление дальнейших исследований. Исследования позволили выявить сложности, определить направления улучшения и усовершенствовать организацию самостоятельной работы студентов на основе норм времени и схемы действий преподавателя при ее проведении.

Библиографический список

1. Самостоятельная работа студентов : [метод. указ.] / А.С. Зенкин, В.М. Кирдяев, Ф.П. Пильгаев, А.П. Лац. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2009. — 35 с.
2. Жукова Е.Д. Технология организации и реализации самостоятельной работы студентов : [рабочая тетр.] / Е.Д. Жукова. — Уфа : Изд-во БГПУ, 2004. — 32 с.
3. Зеер Э.Ф. Ключевые компетенции, определяющие качество образования / Э.Ф. Зеер // Образование в уральском регионе в XXI веке: научные основы развития. — Екатеринбург, 2002. — Ч. 2. — С. 23–25.
4. Кагарманова А.И. Самостоятельная работа студента : [программа спец. курса и метод. реком.] / А.И. Кагарманова. — Уфа : Изд-во БГПУ, 2003. — 36 с.
5. Солсо Р.Л. Когнитивная психология / Р.Л. Солсо. — СПб. : Питер, 2006. — 589 с.
6. Алтайцев А.М. Учебно-методический комплекс как модель организации учебных материалов и средств дистанционного обучения / А.М. Алтайцев, В.В. Наумов. — Мн. : Пропилеи, 2002. — 288 с.
7. Ковалевский И. Организация самостоятельной работы студента // Высшее образование в России. — 2000. — № 1. — С. 114–115.
8. Дьюи Дж. Демократия и образование: [пер. с англ.] / Дж. Дьюи. — М. : Педагогика-Пресс, 2000. — 384 с.
9. Toohey Susan Beliefs. Values and Ideologies in Course Design:[Designing Courses for Higher Education Buckingham]/ Susan Beliefs Toohey. — SRHE& Open University, 1999. — pp. 44–69.

**Рекомендована к печати д.э.н., проф. ДонГТУ Бизяновым Е.Е.,
зам. начальника Алчевской ОГНИ ГКН ЛНР –
начальником Перевальского отделения Калмыковой Е.Ю.**

Статья поступила в редакцию 27.05.16.

д.е.н. Гришко Н.В., к.е.н. Кунченко О.В., Куденко М.С. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ОБЛІК І АУДИТ»

Досліджено процес виконання самостійної роботи студентів спеціальності «Облік і аудит». Виявлено складності і запропоновано напрями поліпшення організації самостійної роботи студентів і схема дій викладачів при проведенні самостійної підготовки студентів.

Ключові слова: організація, керівництво, самостійна робота, складність, норми часу, схема дій.

Doctor in Economics Grishko N.V., PhD in Economics Kunchenko A.V., Kudenko M.S. (Don-STU, Alchevsk, LPR)

ORGANIZATION OF STUDENTS' INDIVIDUAL WORK ON SPECIALTY «ACCOUNT AND AUDIT»

In the paper the students' individual work on specialty «Account and Audit» has been studied. Once the difficulties have been found out the ways for enhancement the organization of students' individual work and the activity-based algorithm for lecturers at carrying out the students' individual work are proposed.

Key words: organization, leading, individual work, complexity, time norms, activity-based algorithm.

УДК 658.5

к.э.н. Белозерцев О.В.,
Лысак Ю.А.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, belozertcev@bk.ru)

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКИХ АЛЬТЕРНАТИВ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Предложена новая матрица БКГ, модифицированная в части увеличения сегментов по горизонтальной оси (относительная доля рынка), с выделением зон с низкой, средней и высокой относительными долями.

Ключевые слова: матричные методы формирования стратегии развития, модифицированная матрица БКГ, портфельные стратегии.

Постановка проблемы. Развитие рыночных отношений повышает значение корпоративного управления предприятиями и усиливает их ответственность за результаты своей хозяйственной деятельности. Именно эффективное функционирование предприятий создает условия стабильного функционирования отраслей народного хозяйства. В новых условиях хозяйствования актуализируются задачи для предприятий разных отраслей промышленности, связанные с разработкой стратегий, которые рассматриваются специалистами как система определенных управленческих и организационных решений, направленных на достижение сформированных целей. Решение этих задач обуславливает использование соответствующих методических подходов, инструментов и процедур, что позволяет осуществлять оценку текущего состояния предприятия, а также формировать цели и реализовывать стратегические альтернативы его развития.

Для решения задач по разработке методических подходов к формированию стратегических альтернатив развития отечественными и зарубежными специалистами предложено множество методических подходов на основе использования разных механизмов и приемов. Наибольшее распространение среди них получили матричные методы, при помощи которых появляется возможность формировать стратегии развития в соответствии с текущим состоянием предпри-

ятия и позиции, которую оно занимает на полях матрицы. Разновидностью портфельных матриц является матрица известного американского специалиста по стратегическому менеджменту Игоря Ансоффа, предназначенная для формирования возможных стратегий предприятия в условиях растущего рынка [1, с. 240]. В качестве основного недостатка матрицы следует отметить ее одностороннюю ориентацию на рост и учет всего двух, хотя и важнейших, факторов (товар – рынок). В группу наиболее широко известных инструментов портфельного анализа входит матрица «привлекательность – конкурентоспособность», именуемая также матрицей Мак-Кинси [2, с. 439]. Однако вместе с увеличением количества критериев и размеров матрицы более сложными становятся измерение показателей и оценка. На основе кривых опыта и жизненного цикла строятся различного рода матрицы. Наиболее известной является матрица жизненного цикла ADL/LC [3, с. 151]. Однако, несмотря на то, что для решения задач предлагается 24 варианта стратегий, данная модель ограничена только теми стратегиями, в которых не предпринимаются попытки изменить жизненный цикл отрасли. Удобным инструментом для уравнивания близких и далеких перспектив может служить матрица жизненных циклов [4, стр. 300]. Вместе с тем, несмотря на очевидные достоинства рассматриваемого метода как аналитического инструмента стратегического выбора предприя-

тия, его использование сопряжено с рядом проблем. Анализ жизненных циклов базируется на оценках вероятных для предприятия тенденций, что не всегда оправдано из-за проблем, связанных с нестабильностью внешней среды.

Одну из комбинированных портфельных моделей (матрицу «Shell-DPM») называют матрицей направленной политики, так как в ней акцентировано внимание на количественные показатели бизнеса [5, с. 158]. Однако этот метод выбора стратегии ограничен рамками ряда очень капиталоемких отраслей промышленности, таких как химическая, нефтеперерабатывающая, металлургическая. Важный шаг в определении бизнеса и в целом в матричном подходе сделан Д. Абелем, который предложил определять область бизнеса в трех измерениях [6, стр. 161]. В итоге получается уже не матрица, а объемная модель с нефиксированным количеством компонентов, что усложняет процесс принятия решения.

На основе изучения поведения производственно-коммерческих организаций В.С. Ефремов предложил матрицу для выбора стратегических позиций, включающую 36 областей [7, стр. 108]. Вместе с тем многообразие позиций позволяет только фиксировать положение предприятия в определенной области, а не выбирать стратегию. Важнейшим методом стратегического анализа внешней и внутренней среды и формирования на этой основе стратегий является построение SWOT-матрицы [8, с. 70]. Следует отметить, что, являясь в целом действенным инструментом оценки стратегического состояния предприятий, этот метод содержит элементы субъективизма. Для определения стратегического положения предприятия и выбора соответствующей конкурентной стратегии разработана SPACE-матрица [9, с. 202].

Рассмотренные методические подходы по выбору стратегий развития с использованием матриц имеют свои сильные и слабые стороны и дают наибольший эффект при комплексном их применении. Вместе с тем

следует отметить, что наибольшее распространение на практике получила матрица Бостонской консультационной группы (БКГ). В её основе лежит модель жизненного цикла товара, в соответствии с которой он в своем развитии проходит четыре стадии: выход на рынок (товар – «трудные дети»), рост (товар – «звезда»), зрелость (товар – «дойная корова») и спад (товар – «собака») [10, с. 214]. Однако четырехклеточная матрица, оценивающая значения только как «низкий – высокий», не отображает того, что много хозяйственных подразделений (может быть, большинство) работают на рынках со средними темпами роста и их относительная доля не является ни низкой, ни высокой, а находится где-то посередине. В связи с чем возникают трудности в выборе решений относительно их дальнейшего финансирования и стратегии поведения.

Постановка задачи. Целью статьи является разработка методического подхода по выбору стратегических альтернатив развития промышленных предприятий на основе использования матрицы Бостонской консультационной группы, который позволяет устранить отмеченные недостатки.

Изложение материала и его результаты. Для решения поставленной задачи был предложен методический подход, основанный на использовании модифицированной матрицы БКГ. В базовом варианте эта матрица представляет собой четыре поля, сформированных в осях «темпы роста рынка» – «относительная доля рынка». В пределах этих полей располагаются стратегические зоны хозяйствования, представленные в виде кругов, размер которых определяется долей прибыли данного вида бизнеса в общем объеме прибыли предприятия от всех видов деятельности. Анализ расположения стратегических зон на полях матрицы позволяет определить стратегии их развития, направления изменения структуры портфеля предприятия, а также формировать потоки денежной наличности, которые либо направляются на проведение операций в отдельно взятом бизнесе, либо возникают в результате таких операций.

Проведенный анализ использования матрицы БКГ для целей портфельного анализа и разработки стратегий позволяет сделать вывод, что деление горизонтальной оси матрицы на «высокую» и «низкую» относительную долю рынка не позволяет достаточно точно отобразить реальное состояние работающих на рынке предприятий. Граница между высокой и низкой относительными долями на уровне 1.0 является достаточно жестким критерием, так как в левой половине матрицы будут располагаться предприятия и их бизнесы с наибольшей долей продаж в своей отрасли. Соответственно, в противоположной части, отмеченной как «низкая относительная доля», находятся те предприятия, объем продаж которых меньше, чем у конкурентов. Однако функционирует много предприятий, которые занимают сильную позицию на рынке, имеют относительную долю, являющуюся скорее средней или промежуточной, но при этом не являются лидерами. Относительно таких предприятий возникают сложности при разработке стратегий. На отмеченный недостаток использования матрицы БКГ указывают и другие авторы, предлагая изменить нижнюю границу относительной доли рынка до уровня 0,75 или 0,8 [4, с. 289; 8, с. 169] и верхнюю — до 1,5 [11, с. 138].

В связи с этим горизонтальную ось матрицы предлагается разделить на три сектора с «низкой», «средней» и «высокой» относительной долей рынка. Границу среднего сектора предлагается установить в пределах показателя 0,75 – 1,5. В этом «среднем» диапазоне и будут располагаться предприятия, занимающие сильные позиции на рынке, но не всегда являющиеся лидерами. В результате чего формируется шестиклеточная матрица (рис. 1).

При динамическом анализе портфеля можно проследить эволюцию стратегической бизнес единицы (СБЕ) во времени на модифицированной матрице. Успешное развитие, связанное с эффективными действиями по управлению хозяйственным портфелем предприятия, определяется следующей последовательностью развития конкретной СБЕ: «трудный ребенок» (вход на перспективный рынок) – «молодая звезда» (рост) – «звезда» (применение агрессивной стратегии по увеличению доли рынка, связанной с достижением внутреннего конкурентного преимущества) – «дойная корова» (результат стабилизации рынка и стратегии удержания лидерства по издержкам) – «теленок» (постепенная потеря конкурентных преимуществ) – «собака» (уход с рынка).

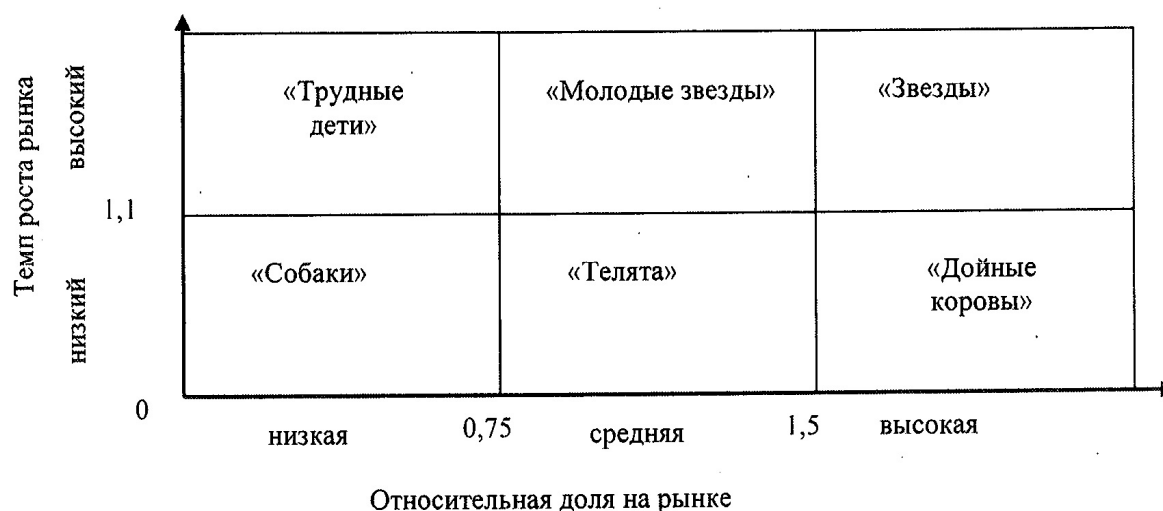


Рисунок 1 – Модифицированная матрица БКГ

Хозяйственные единицы в верхнем левом квадрате матрицы именуют «Трудными детьми» (быстрый рост – низкая доля рынка). Как правило, они охватывают три типа товаров: новая торговая марка на рынке; продукты, которые по разным причинам не смогли конкурировать на рынке и не имеют перспектив повышения конкурентоспособности; продукты, которые перешли в эту категорию из «звезд» или «молодых звезд». Быстрые темпы роста отраслевого рынка делают их привлекательными. Однако их низкая доля на рынке (а, следовательно, ограниченный эффект кривой обучения) не позволяет им успешно конкурировать с более крупными и эффективными конкурентами. Предприятия этого типа требуют значительной финансовой поддержки (из-за крупных инвестиций, необходимых для финансирования быстрого роста и разработки новой продукции), а внутренние возможности получения наличных (генерирования доходов) незначительны (из-за низкой доли на рынке, меньшего эффекта кривой обучения и масштаба, а следовательно, невысокой нормы прибыли).

Предприятие в быстрорастущей отрасли требует крупных вливаний наличности только для того, чтобы успевать за быстрым ростом рынка, и еще более значительных вливаний, если оно стремится увеличить свою долю на рынке и стать лидером в отрасли. Если товарам, занимающим эту позицию, не предоставить своевременной финансовой помощи за счет других стратегических зон, то они постепенно перейдут в категорию «собак». Следовательно, стратегии применительно к предприятиям и товарам типа «трудный ребенок» совершенно определены: избавиться (путем продажи или прекращения выпуска) от тех, которые слабее и не имеют шансов догнать лидеров по кривой обучения; осуществить крупные вложения в предприятия с большим потенциалом, чтобы превратить их в будущих «молодых звезд» и «звезд».

«Молодые звезды» (быстрый рост – средняя доля) – это хозяйственные подразделения, работающие на быстрорастущем рынке, занимающие на нем сильные позиции, но не всегда являющиеся лидерами. Для них наиболее целесообразной является агрессивная стратегия инвестирования и расширения, использующая возможности быстрого роста отрасли. Следование этой стратегии, характеризующейся значительным эффектом кривой обучения, позволит за счет прироста рыночной доли сравняться с низкими затратами предприятий, имеющих большой производственный опыт и более крупные доли на рынке. Успешная реализация стратегии быстрого роста и значительное увеличение доли на рынке позволит успешно конкурировать в затратах с другими предприятиями и перейти в категорию «звезд». Реализация этой стратегии зависит от возможностей дополнительного финансирования и реакции (поведения) лидера на осуществление попыток перераспределения рыночной доли. Эти хозяйственные подразделения должны быть готовы к жесткой конкурентной борьбе, на которую необходимы финансовые ресурсы.

«Звезды» (высокий рост – большая доля). Товары, которые попадают в правый верхний сектор матрицы, занимают лидирующее положение в отрасли, так как имеют относительно высокие доли на рынке и обеспечивают высокие темпы роста. Именно на эти товары опирается руководство предприятия для повышения эффективности всего портфеля. С учетом их доминирующего положения на рынке и усиливающейся конкуренции «звезды» обычно требуют значительных вложений наличности для расширения производственных площадей и покрытия потребности в оборотном капитале. Но они также, как правило, обеспечивают собственные значительные накопления благодаря снижению издержек, обусловленному крупными масштабами производства и накопленным производственным опытом. В зависимости от конкуренции на рынке некоторые из

них способны покрыть свои инвестиционные потребности за счет собственных поступлений; другие требуют дополнительных вливаний с тем, чтобы сохранить отраслевые темпы роста. Главная проблема связана с определением правильного баланса между доходом и инвестициями в эту область с тем, чтобы в будущем гарантировать возвратность последних. У менеджеров всегда существует искушение уменьшить инвестиции в целях увеличения текущей прибыли, однако это может оказаться нецелесообразным, так как в долгосрочной перспективе данный продукт может превратиться в товар-«дойную корову». В этом смысле важно учитывать будущие доходы товара-«звезды», а не текущие.

«Дойные коровы» (медленный рост – большая доля рынка) располагаются в правом нижнем квадрате матрицы и характеризуются занимаемой высокой относительной рыночной долей и невысоким темпом роста. Это продукты или бизнес-единицы, занимающие лидирующие позиции на рынках с низким темпом роста. Их привлекательность объясняется тем, что они не требуют больших инвестиций и обеспечивают значительные положительные денежные потоки, основанные на опытной кривой. Такие бизнес-единицы не только окупают себя, но и обеспечивают инвестирование в новые проекты, от которых зависит будущий рост предприятия. Благодаря высокой относительной доле на рынке и лидирующей позиции в отрасли, эти бизнес-единицы могут получать высокую прибыль и иметь большой объем продаж. А так как темпы роста данной отрасли невысоки, то поступления наличности от текущих операций обычно превосходят ее потребности в капиталовложениях для сохранения текущих позиций на рынке. Многие «дойные коровы» – это вчерашние «звезды», которые постепенно сместились вниз по вертикальной шкале по мере того, как спрос на продукцию отрасли становился более зрелым. Хотя «дойные коровы» менее привлекательны с позиций развития,

они являются ценными для предприятия. Излишек наличности, который они приносят, обеспечивает средства для инвестирования в формирующиеся «звезды» и «молодые звезды», которых готовят на роль будущих «звезд». Следует предпринять все усилия для того, чтобы поддержать сильных «дойных коров» в должном состоянии с целью сохранения их способности приносить наличность в долговременном периоде. Цель должна заключаться в защите позиций «дойной коровы» на рынке, пока она эффективно приносит средства для использования в других единицах. Для того, чтобы феномен товаров-«дойных коров» в полной мере использовался в инвестиционной политике предприятия, необходимо компетентное управление продукцией, особенно в сфере маркетинга. Основные задачи при этом сводятся к предложению новых моделей товаров с целью стимулирования клиентов к увеличению покупок, периодической рекламе, которая постоянно «напоминает» о товаре, и проведению новых ценовых скидок и акций. Конкуренция в стагнирующих отраслях очень жесткая, поэтому необходимы постоянные усилия, направленные на поддержание доли рынка и поиск новых рыночных ниш.

«Телята» (низкие темпы – средняя доля) – это товары-слабеющие «дойные коровы», теряющие долю рынка, или сильные «собаки», имеющие возможность усилить свою конкурентную позицию. Положение продукта в этом сегменте зависит от конкуренции на рынке. При увеличивающейся конкуренции для товаров этого сегмента будут увеличиваться потребности в инвестициях для удержания своих позиций. Отсутствие необходимой финансовой поддержки ведет к исчерпанию потоков наличности или, что еще хуже, к отрицательному балансу движения наличности в них. Потеря конкурентных позиций «телят» ведет к постепенному их переходу в сегмент «собаки».

«Собаки» (низкие темпы – малая доля) – это товары с низкой долей на рынке от-

раслей с невысокими темпами роста. Перспективы роста этих товаров не определены, позиции на рынке неустойчивы, а в результате – норма прибыли низкая. Поток денежной наличности в этих областях бизнеса обычно очень незначительный, а чаще даже отрицательный. Любой шаг предприятия в направлении получить большую долю рынка однозначно контратакуется доминирующими в той отрасли конкурентами. Только мастерство менеджера может помочь предприятию удерживать такие позиции в этой бизнес-области. Слабые единицы этой группы часто не способны обеспечить долговременные поступления наличности. Иногда они даже не могут приносить наличность, достаточную для поддержания стратегии укрепления и защиты своих позиций, особенно если конкуренция носит ожесточенный характер, а норма прибыли традиционно низка. Поэтому, за исключением редких случаев, рекомендуется применять к таким товарам стратегию отказа или ликвидации, в зависимости от того, какой вариант обеспечивает наибольшую наличность. Однако организации в некоторых случаях сохраняют эти продукты в своей номенклатуре по разным причинам. Приоритетная стратегия – это деинвестирование и в любом случае скромное существование.

После того, как определены рекомендации для каждого сегмента матрицы, выявляется общее равновесие между сегментами и оценивается степень сбалансированности портфеля предприятия. Возможны различные варианты.

Гармоничный портфель. В состав такого портфеля входят продукты или стратегические хозяйственные подразделения, способные приносить краткосрочную прибыль и быть источниками финансовых средств, а также те, которые способны обеспечить долгосрочные интересы предприятия. Таким образом, в портфеле поддерживается равновесие между товарами, приносящими доходы и требующими инвестиций.

Портфель с избытком товаров или стратегических бизнес-единиц на рынках с низ-

кими темпами роста. Несмотря на положительные текущие финансовые результаты, отсутствует потенциал роста предприятия, что делает его весьма уязвимым в будущем.

Портфель с преобладанием товаров или стратегических бизнес-единиц на перспективных рынках. Предприятия с таким портфелем испытывают финансовые трудности, связанные с недостатком средств для сохранения своей доли рынка и дальнейшего развития товаров. Даже при наличии хороших перспектив данная ситуация может привести к потере независимости предприятия, которое рискует завязнуть в долгах или может быть поглощено сильным конкурентом.

Построение фактического портфеля является началом стратегического планирования. Исходя из этой позиции строятся целевые портфели. Во время разработки и реализации портфельной стратегии необходимо учитывать, что долговременная стратегия предприятия должна предусматривать использование избыточной наличности, созданной в хозяйственных единицах-«дойных коровах», для финансирования прироста доли на рынке у товаров-«молодых звезд» и «звезд», не способных профинансировать свой рост за счет внутренних источников, и «трудных детей», имеющих хорошие перспективы для улучшения своих позиций. В случае успеха эти товары, в конечном счете, превращаются в «звезды» и самообеспечиваются. Затем по мере созревания рынков «звезд» и замедления их роста они превращаются в «дойных коров». Более слабые, менее привлекательные единицы типа «трудные дети», не оправдывающие стратегию долговременного инвестирования и расширения, часто бывают обузой для предприятия из-за высоких затрат, связанных с их низкой относительной долей на рынке и необходимостью привлекать дополнительный капитал для того, чтобы они сохраняли темп роста, диктуемый рынком.

Можно предложить следующую последовательность использования денежных средств, варианты которой представлены в соответствии с их приоритетом (рис. 2).

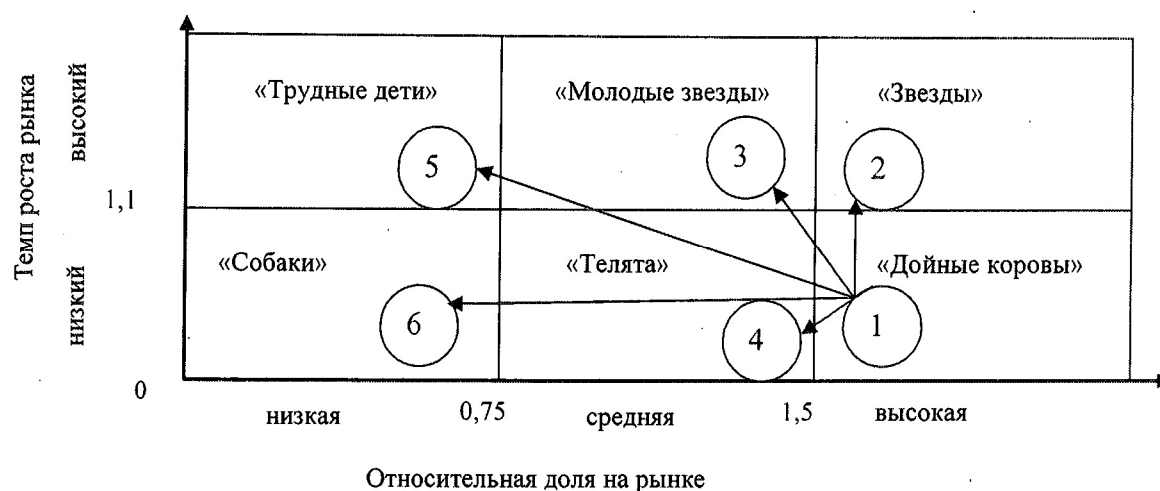


Рисунок 2 – Рекомендуемая последовательность использования денежных средств

1. Лучшее использование денежных средств – это поддержка «дойных коров». Им не так часто нужны денежные средства, но если требуются инвестиции для строительства новых объектов или модернизации технологии, то их следует осуществлять, не скупясь.

2. Следующими в очереди должны находиться «звезды». Им нужны значительные инвестиции для того, чтобы сохранить или увеличить относительную долю рынка.

3. «Молодые звезды» также нуждаются в значительных средствах для реализации агрессивной стратегии по увеличению доли рынка, не сокращая при этом темпов роста.

4. «Телята», занимающие относительно сильные позиции на слаборастущем рынке нуждаются в дополнительных финансовых средствах, которые позволят улучшить их положение за счет перераспределения рыночной доли.

5. Инвестирование в «трудных детей» должно быть строго избирательным; необходимо ограничиться поддержкой только тех направлений, которые имеют реальный шанс завоевать лидерство на рынке.

6. Наименьшим приоритетом обладают инвестиции в «собак», в отношении которых может быть дана рекомендация, чтобы они были минимальными или даже отрицательными. Однако даже в этом секторе

могут находиться бизнес-единицы, обладающие различными характеристиками и поэтому требующие дифференцированного подхода при формировании инвестиционной стратегии предприятия.

Выводы. Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Использование для разработки стратегии матрицы БКГ, предусматривающей деление относительной доли рынка на «низкую» и «высокую», не всегда позволяет отобразить картину работающих на рынке предприятий, т. к. бизнес с относительной долей рынка 0,8 может быть довольно прибыльным, приносить существенный положительный поток наличности, быть абсолютно непохожим на бизнес с относительной долей рынка, равной 0,3, и иметь другую стратегию.

2. Предложена новая матрица БКГ, модифицированная в части увеличения сегментов в горизонтальной оси (относительная доля рынка), с выделением на ней зон с низкой, средней и высокой относительными долями. Такая модификация позволила сформировать матрицу с шестью полями, отражающими движение нового товара на рынке – «трудный ребенок» - «молдая звезда» - «звезды» - «дойная корова» - «теленочек» - «собака».

3. Даны рекомендации по разработке и реализации портфельной стратегии, заостряющие внимание на особенностях движения наличности и инвестирования на предприятиях различных типов и на том, как финансовые ресурсы можно распреде-

лить между стратегическими хозяйственными подразделениями предприятия с целью оптимизации отдачи от портфеля предприятия в целом.

Библиографический список

1. Кох Р. Стратегия. Как создавать и использовать эффективную стратегию / Р. Кох. — СПб. : Питер, 2003. — 320 с.
2. Круглова Н.Ю. Стратегический менеджмент: учебник для вузов / Н.Ю. Круглова, М.И. Круглов. — М. : Издательство РДЛ, 2003. — 464 с.
3. Стратегия предприятия и стратегический менеджмент: учебное пособие / Ю.В. Соболев, В.Л. Дикань, А.Г. Дейнеко, Л.А. Позднякова. — Х. : ООО «Олант», 2002. — 416 с.
4. Томпсон А.А. Стратегический менеджмент. Концепции и ситуации : учебник для вузов / А.А. Томпсон, мл. А.Дж. Стрикленд III. — М. : ИНФРА-М, 2000. — 412 с.
5. Шифрин М.Б. Стратегический менеджмент / М.Б. Шифрин. — СПб. : Питер, 2006. — 240 с.
6. Гапоненко А.Л. Стратегическое управление: учебник / А.Л. Гапоненко, А.П. Панкрухин. — М. : Омега-Л, 2004. — 472 с.
7. Ефремов В.С. Стратегическое планирование в бизнес-системах / В.С. Ефремов. — М. : Издательство «Финпресс», 2001. — 240 с.
8. Веснин В. Стратегическое управление : учебник / В. Веснин. — М. : ТК Велби, изд-во Проспект, 2004. — 328 с.
9. Зуб. А.Т. Системный стратегический менеджмент: методология и практика / А.Т. Зуб, М.В. Локтионов. — М. : Генезис, 2001. — 752 с.
10. Аакер Д. Стратегическое рыночное управление / Д. Аакер. — СПб. : Питер, 2002. — 544 с.
11. Ковтун О.І. Стратегія підприємства : навч. посібник / О.І. Ковтун. — Львів : «Новий Світ» - 2005. — 388 с.

Рекомендована к печати д.э.н., проф. ДонГТУ Гришко Н.В., гл. специалистом Управления экономики рыночных отношений и собственности Администрации г. Алчевска Сулеймановой Т.А.

Статья поступила в редакцию 10.05.16.

к.е.н. Белозерцев О.В., Лисак Ю.О. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЧНИХ АЛЬТЕРНАТИВ РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Запропоновано нову матрицю БКГ, яка модифікована в частині збільшення сегментів по горизонтальній вісі (відносна частка ринку), з виділенням зон з низькою, середньою і високою відносними частками.

Ключові слова: матричні методи формування стратегії розвитку, модифікована матриця БКГ, портфельні стратегії.

PhD in Economics Belozertsev O.V., Lysak Yu. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

FORMATION OF STRATEGIC ALTERNATIVES FOR DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

A new BCG matrix, modified in terms of increasing segments along the horizontal axis (relative market share), emphasizing areas of low, medium and high relative shares.

Key words: matrix methods of strategy development, the modified BCG matrix, portfolio strategies.

**ГУМАНИТАРНЫЕ
НАУКИ**

УДК 911.852:930.2

к.іст.н. Глушко Т.М.
(ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ЕКЗИСТЕНЦІЙНИЙ І ОНТОЛОГІЧНИЙ РЕСУРС ДОКУМЕНТА

У статті зроблена спроба опрацювання нового ракурсу розуміння документа, що поєднує традиційні методології герменевтики з ідеєю культурологічно обґрунтованого екзистенційно-онтологічного підходу до феномену документа, який аналізується по критеріях істини об'єктивності і обґрунтованості. Документ розглядається як онтологічний феномен, як явище культури. У системі комунікації «суб'єкт розуміння – документ» домінує екзистенційно орієнтована мотивація.

Ключові слова: документ, текст, екзистенційний, онтологічний ресурс, соціальна комунікація.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.

В умовах кризи ідеології назріла необхідність усвідомлення ідентичності через освоєння онтологічного та екзистенціального ресурсу історичного документа.

Руйнування цінностей актуалізує проблему письмового документа. Феномен документа, перебуваючи в центрі інтересу різних наукових дисциплін, в даний час не отримав чіткого філософсько-естетичного визначення. Тому назріла необхідність для визначення базових властивостей дослідження філософсько-естетичного змісту документа. У різні історичні епохи один і той же документ сприймається по-різному. Стародавні греки продемонстрували світу, що документ є філософсько-культурним феноменом. Він є не тільки джерелом наукового пізнання, а й джерелом філософсько-культурного осмислення історії. Добро, Краса, Істина — морально-естетичні поняття, які включає в себе документ.

В даний час, коли йде деградація культури, це набуває особливого сенсу. Збереження духовно-моральних цінностей народу — одне з найгостріших питань сучасності. Для взаємопроникнення і взаємозбагачення загальнолюдської культури дуже важливим стає філософсько-культурний зміст документа.

Письмові документи завжди залишаються відкритими для всіляких трактувань і інтерпретацій. Але саме естетичне став-

лення дозволяє людині засвоїти соціальний досвід в духовно-культурних формах.

Головним елементом документа є текст, що містить сукупність речень, послідовно об'єднаних змістом і побудованих за правилами певної мовної системи. Текст є засобом відтворення зв'язного мовлення, тобто висловлювання, пов'язаного однією темою, основною думкою та структурою.

В області гуманітарного знання усе більш домінує екзистенційно орієнтована методологія, тобто звернення до актуальних питань буття людини в світі культури. У цих рамках істотно посилюється онтологічна лінія пізнання. Культурологічний дискурс при цьому не лише аналізує, інтерпретує і розуміє, але і онтологізує культуру як цілісність.

Постановка задачі. Задачею даної роботи є обґрунтування естетико-філософсько орієнтованої методології розуміння тексту, домінантою якої виступає креативно-онтологічна парадигма; синтез різних методологічних платформ розуміння.

Виклад матеріалу і його результати. Міра панування людини над світом визначається її здатністю оцінити явище естетично. З іншого боку, цей захід залежить від ступеня свободи людини по відношенню до навколишніх явищ. А рівень свободи людини і значення для неї натурально-природних властивостей визначається рівнем розвитку суспільства. Співвідношення загальнолюдської значимості письмового

документа і методи їх освоєності визначає різноманіття естетичних властивостей.

Таким чином, естетичне виявляється залежно від міри і характеру освоєності людиною даної сфери.

Історичний тип діяльності людей відображає естетичні властивості історичного документу. Оскільки істинний сенс документу народжується в діалозі вченого з автором, він завжди історичний. «Естетична імплікація збагачується і уточнюється з часом, історична ж імплікація полягає в тому, що розуміння перших читачів може продовжитися і збагатитися в ланцюзі рецензій, що з'єднують покоління з поколінням, вирішуючи наперед тим самим історичне значення твору, виявляючи його естетичний ранг» [1, с. 167].

Виявлення філософського змісту історичного документу і перекладу його на мову філософських понять вельми актуальне для сучасної філософії. Кожен філософ, перебуваючи в певній епосі, бачить документ по-своєму. Виникає питання: як ці інтерпретації об'єднати, зробити цілісним формуванням? Єдність інтерпретації документу проявляється в цілісності за рахунок єдності мови і всієї заснованої на ній людської культури в цілому. Вони є тим сполученим елементом, який об'єднує всі існуючі визначення та інтерпретації документа. Але з іншого боку, історичний текст відрізняється величезними інтерпретаційними можливостями, для нього неможливо вказати чітких формальних чи емпіричних критеріїв і стандартів.

Всі документи та теорії лише певною мірою осмислюють історичну реальність, в якій їм дозволяє це зробити власна історична епоха. Історичні документи є результатом відповідної інтерпретації подій і фактів, а не їх наслідком. Цю властивість вперше було виявлено Ф. Шлейермахером, а методологія гуманітарного пізнання запроваджена М.М. Бахтіним. «Дослідження є запитуванням і бесідою, тобто діалогом. Природу ми не питаємо, і вона нам не відповідає. Ми ставимо питання собі і певним

чином організуємо спостереження або експеримент, щоб отримати відповідь» [2, с. 292]. Діалог як принцип, що розкриває внутрішню сутність розуміння, діалогічний характер інтерпретації текстів у цей час недостатньо розроблені. «Ми підходимо тут до переднього краю філософії мови і взагалі гуманітарного мислення» [2, с. 298].

Культурна історія організовується не у часі, а в просторі. Таким чином, документ у поданні історика двоїться, його соціальний і культурний вимір утворюють дві різні ціннісно-сміслові площини, між якими розгортаються діалогічні відносини. Дослідник постійно здійснює коливальні рухи: від поля культурних значень до поля соціальних значень. Філософська концептуалізація історичного процесу представляється як «розгойдування маятника між смисловими полюсами соціокультурної семантики» [3, с. 102].

М.М. Бахтін виділяє три етапи діалогічного руху розуміння. На першому етапі вихідним моментом є даний текст. Точніше, перенесення досліджуваного тексту в даний час, тому що тексти завжди належать минулому, наскільки б малий проміжок часу не відокремлював їх від справжнього. Зміст другого етапу — рух назад, вивчення цього твору у минулих контекстах. Третій етап характеризується рухом вперед, прагненням до «передбачення майбутнього контексту». Розуміння є синтез багатьох інтерпретацій на всіх трьох етапах. Повнота твору розкривається тільки у «великому часі» [2, с. 239].

В.П. Візгін пропонує три рівня осмислення тексту, які, з одного боку, відповідають історично минулим підходам в історії знання, відображають основні лінії його генезису, а з іншого боку, синтез усіх трьох рівнів може розглядатися як своєрідна логіка інтерпретації для сучасних досліджень. При дослідженні тексту на першому рівні його розглядають як невід'ємну частину усієї системи текстів автора в цілому. У плані такої інтерпретації і підходу сенс розуміється як відображення в аналі-

зованому історичному фрагменті єдиної авторської концепції, як вираз деякої цілісності і взаємопов'язаності частин та елементів вчення чи «системи» мислителя. Знаходження такого сенсу складає завдання систематичної інтерпретації. Характерним моментом такої інтерпретації є абстрагування від можливої еволюції досліджуваної системи або навчання в межах творчої біографії автора [4, с. 320].

На другому рівні осмислення тексту ставлять завдання виявлення сенсу за допомогою історичної інтерпретації. «Ефект осмислення при такому підході виникає за рахунок локального відображення в досліджуваному фрагменті тексту цілої історичної традиції або її якоїсь частини, включаючи внутрішню історію текстів і концепцій вченого» [4, с. 321].

Третій рівень осмислення текстів спирається на позанаукові дані, зовнішні по відношенню до наукових текстів чинники. «Осмислення вихідного тексту при такому підході означає, що текст тлумачиться через певного роду зв'язки всередині соціоісторичного комплексу діяльності людей. СENS тут виникає як відображення в досліджуваному фрагменті тексту часткового зрізу усієї соціокультурної тотальності. Інтерпретацію наукового тексту, який відкриває в ньому «позатекстові» і «позанаукові» значення практики і культури, ми називаємо схематичною інтерпретацією. Ця назва висловлює націленість такого аналізу та інтерпретації на певного типу схеми, які є в кінцевому підсумку схемами діяльності» [4, с. 322].

Важливе місце в концепції В.П. Візгіна займає принцип актуалізації епістемогенезу, який робить можливим відтворення знання про минуле в сучасній культурі. Розуміння є завжди, урешті-решт, акт приєднання пізнання, акт відтворення тут і зараз того, що вважається тільки колишнім там і тоді. «Абстрактне (для нас як представників іншої культури та епохи) мислення минулого стає таким чином «залученим» мисленням справжнісі-

нького. Принцип актуалізації епістемогенезу обґрунтовує можливість розуміння мислення минулих епох, а, тим самим, завдання історика науки стає в принципі вирішеним» [4, с. 330-331].

Актуалізація тексту, що належить до минулої культури, неминуче пов'язана з привнесенням інтерпретатором до смислового змісту тексту деякої нової інформації, можливе навіть перекручення «первинного» сенсу об'єкта тлумачення. Тому найважливішою проблемою текстів є розроблення критеріїв оцінки її результатів, тобто проблема адекватності інтерпретації. В.П. Візгін не оминає проблему співвідношення істини та інтерпретації, хоча вона не вирішується автором, а лише ставиться. Істинно науковий підхід буде забезпечений лише у разі, коли інтерпретація текстів буде розглянута як проблема історії твору в залежності від тих матеріальних передумов, які детермінували його виникнення, урешті-решт від історії суспільства. Філософським методом аналізу документа є герменевтика. У системі герменевтики активно розвивається парадигма, орієнтована на цілісне знання, що отримується у взаємодоповнюваних соціальних, культурно-історичних і психологічних аспектах феноменів, що вивчаються. Традиція герменевтики представлена творчістю В. Дільтея, Е. Гуссерля, Х. Хайдеггера, Х. Гадамера, П. Рікера, у роботах яких обґрунтована концепція «феноменологічної редукції», згідно якої текст тотожний самому собі в протилежність множинності актів свідомості, що актуалізує у процесі сприйняття тексту діяльність суб'єкта, що формує змісти.

П. Рікер у роботі «Герменевтика і метод соціальних наук» розглядає залежність інтерпретації від розуміння та їх конфлікт між собою, вважаючи, що методологічні проблеми мають сенс розглядатися саме щодо інтерпретації. Він підкреслює множинність інтерпретації як істотну рису герменевтики і характерну особливість розуміння — не недолік, а гідність [5, с. 462].

«Розуміння і тлумачення текстів є не тільки науковою задачею, але очевидним чином відноситься до всієї сукупності людського досвіду в цілому» [5, с. 38].

На заваді історичного розуміння, вважає Х. Гадамер, стає суб'єктивне, особистісне начало дослідника, який повинен оживити в собі історичне минуле. «Лише відмирання всіх актуальних зв'язків з історичним явищем дозволяє виявити його справжню цінність. Саме розуміння слід мислити швидше не як дію суб'єктивності, але як включення у звершення переказу, в якому відбувається безперервне опосередкування минулого і сьогодення» [5, с. 345].

Історична школа (І.Г. Дройзен, Л. Ранке, В. Дільтей) розробляла герменевтику, насамперед, як метод інтерпретації історії, вважаючи історичний підхід опорою гуманітарних наук; глибше збагнення поняття історії стане тією точкою гравітації, де нинішні порожні коливання гуманітарних наук зможуть знайти сталість і можливості для подальшого прогресу [5, с. 47].

Дільтей вважав, що розуміння є не що інше, як перенесення нашого власного внутрішнього досвіду на мляву саму по собі зовнішню фактичність [6, с. 419].

Думка Дільтея вкоренилася у свідомості сучасних філософів, які вважають герменевтичний підхід природним для історичного розуміння будь-якого характеру і розвивають його.

А.С. Кармін пише: «Щоб вести історичне дослідження, треба переселити свою свідомість в минуле. Однак воно залишиться нинішнім, сучасним розумінням ... історія є інтуїтивне бачення минулого очима сучасного знання». Тому розуміння та інтуїція вченого — це не пасивне підпорядкування свого способу думок чужому. Воно пов'язане з активною дією, з реконструкцією іншого менталітету засобами менталітету своєї культури ... І якщо, з одного боку, реконструкція вченого не може з абсолютною точністю і повнотою відтворити іншу ментальність, то, з іншого боку, у вченого виникає надлишкове бачення:

адже він, як носій іншої ментальності, знає щось, що виходить за межі ментальності тих, чиї думки і справи він вивчає. Це дає йому можливість виявити те, що самі їх творці не знали і не підозрювали. Як казав М.М. Бахтін, «давні греки не знали про себе найголовнішого — що вони давні. Але та дистанція у часі, яка перетворила їх на давніх греків, має величезний культурний зміст: вона наповнена поступовим розкриттям у творах античної культури усе нових смислових реєстрів, не відомих їх творцям» [7, с. 64-65].

У Хайдеггера герменевтика стає звершенням буття, яке має визначатися в горизонті часу. Істину буття чинить мистецтво, буття говорить через поетів. А як філософська наука герменевтика покликана тлумачити його. Близькість Хайдеггера історичним настановам попередньої герменевтики в тому, що він для інтерпретації істини найсуттєвішою вважає категорію часу: буття має визначатися в горизонті часу.

При перенесенні свідомості у минуле відбувається і зворотний рух, і Гадамер бачить завдання герменевтики у тому, щоб шляхом дослідження традиції перенести минуле у сучасність.

Суб'єкт історичного пізнання ніколи не може досягти розуміння іншої епохи шляхом «вживання в неї», як і методом максимально дистанційованого описування її. Історичне розуміння реалізується щоразу внаслідок виявлення невиразного контексту, стосовно якого припускається вихід за смисловий горизонт історичного об'єкта розуміння й водночас за межі вихідної позиції суб'єкта пізнання, зміщення його горизонту. Адже увійти в горизонт, смисловий контекст історичного об'єкта можна лише завдяки виходу за його межі. Однак, подібний крок є виходом за межі певного фрагменту історичної реальності, що стала об'єктом і новим входженням, та виявленості історії як «цілого» в умовах пізнавальної діяльності. Подібне бачення історичної герменевтики знаходить філософське обґрунтування у працях Х. Гадамера, Є. Бетті.

Документ являє собою єдиний інформаційний простір, в який входить весь навколишній світ. Ю.В. Рождественський писав: «Безсмертя людства — це безсмертя інформації, укладеної в ньому» [8, с. 76]. Кожен окремих текст співвідноситься з читачем по-своєму, він завжди означає більше, ніж у ньому сказано. Нова епоха інтерпретує документ під різними кутами зору сприйняття, вносить свої корективи з урахуванням існуючого культурного простору. Документ — це особливий світ соціальної комунікації. Стимулом до створення культури і письмового документа є навколишня дійсність. Культура є реакція на світ, а текст — результат первинної комунікативної діяльності людини і об'єкт вторинної. Людина живе у світі текстів і формується під впливом текстів [8, с. 77].

Головне завдання дослідницької діяльності полягає у тому, щоб витягти з тексту максимум інформації, якомога повніше досягнути не тільки той зміст, який потенційно міститься в ньому, крім авторської волі. Етичні, релігійні, політичні та світоглядні уявлення дослідника, чіткі суб'єктивне судження особливо важливе при екзистенціальному методі, стикається тут із викладеними у тексті питаннями і проблемами.

При розгляді письмового документа дослідник прагне через власні суб'єктивні оцінки, через усвідомлення включеної в текст інформації знайти об'єктивну правду. Таким чином, для екзистенційного методу характерні, насамперед, суб'єктивна участь, почуття, інтереси, переживання і настрої.

На всіх етапах створення тексту, від задуму до завершення цілого, діє нерозривна єдність суб'єктивних та об'єктивних чинників, що забезпечують як неповторність тексту, так і його суспільну ідейно-естетичну і наукову цінність. Для історії надзвичайно важливе саме останнє. Ідейно-естетичне і наукове значення тексту в різні періоди його створення дозволяє розглядати його як процес, що протікає нерівно, відрізняється спадкоємністю в одні пе-

ріоди і неприйняттям минулих досягнень в інші, але єдиний у своєму пориві пізнати і пояснити людину і оточуючу дійсність.

Інформація, що міститься у письмовому документі, завжди співвідноситься із суворобмеженою ділянкою дійсності і орієнтована на певне коло адресатів. Він обмежений певним набором ознак: освітніх, соціальних, політичних, територіальних та ін.

Вчений відштовхується від серії фактів, узагальнюючи їх, і у своїх міркуваннях відволікається від одиничного, оперуючи лише узагальненнями, абстракціями. Абстрагуючи науковий висновок застосовний до всіх окремих випадків, що відповідають виведеним узагальненим характеристикам.

Всякий документ створюється зі своєю особливою метою, яка часто не збігається з цілями дослідника. Інтерпретація тексту дозволяє дістатися сутності документа і виявити все, що цікавить дослідника, особливості того історичного моменту, в який створювався документ тощо. Методи аналізу документальних джерел поділяють на неформалізовані (традиційні) та формалізовані. Неформалізований метод — тлумачення документа через з'ясування основних думок та ідей конкретного тексту, оцінка його змісту з культурними, політичними, моральними або естетичними критеріями. Він передбачає зовнішній і внутрішній аналіз документа. Зовнішній — це відновлення обставин створення документа в історичному, культурному і соціальному планах. Внутрішній — аналіз змісту документа, спрямований на виявлення розбіжностей між фактичним і літературним змістом, встановлення рівня компетентності автора. Методи неформалізованого аналізу значною мірою засновані на інтуїції дослідника і мають можливість суб'єктивних зміщень у сприйняття та інтерпретації документа.

Інтерпретація історії пов'язана з постаттю дослідника і пануючим у суспільстві уявленнями про навколишній світ, з історичною діяльністю людей, властивими їм ментальними уподобаннями та іншими

моментами суб'єктивної властивості. Враховуючи, що в історії є випадковість і свідомий вибір, який є важливим елементом історичного процесу, що правильний вибір пов'язаний ще і з соціально-психологічним фактором почуття історії, змістом якого є зв'язок з минулим поряд з відповідальністю за майбутнє, правильна інтерпретація історії має дуже важливе значення.

Таким чином, у ході вивчення документа виникає логічна необхідність співвідношення тексту з соціально-естетичними потребами у сьогоденні і майбутньому. Ступінь розуміння самої структури таких відносин підводить до розкриття таємниці збереження вічних цінностей документа та їх роль у становленні духовно-культурного світу епохи. Дослідниками не були порушені естетичні та герменевтичні сторони історичного документа.

Сучасна естетична герменевтика ставить питання про те, що слід бачити за текстом: авторську особистість, реальність історичної епохи, яка породила культурну традицію? Досвід герменевтики дає методологію інтерпретацій; орієнтує на виявлення конкретно-історичного змісту культури; направляє дослідника на цілісний, концептуально-

філософський підхід; сприяє застосуванню тексту в сучасному культурному житті.

Х.С. Яусс вважає, що для подолання розриву між історією та естетикою в сучасну епоху, зміни культурно-естетичних рухів необхідно сформувати принципово нову парадигму. У її основі — з'єднання формально-естетичного аналізу з історико-рецептивним.

Метод герменевтики залишився доведеним до рівня методології дослідження історії. Автори герменевтичного підходу позначили його принцип, але не розробили його метод.

Герменевтичний підхід залишився на рівні методологічного побажання. Але через відсутність конкретних базових смислових одиниць, що дозволяють зіставити особистий психологічний досвід з колективним. Науковість — передусім, закономірність, і щоб герменевтичний метод отримав визнання як об'єктивно-науковий метод дослідження в таких гуманітарних галузях, як історія, щоб акцент на унікальності будь-якого історичного моменту і людського досвіду, «вживання в нього» не виглядав чисто суб'єктивним, залишається актуальним завдання виявлення закономірностей людського сприйняття та продукування культурних форм та ідей.

Бібліографічний список

1. Михайлова М.В. Проблемы общения в пространстве тотальной коммуникации / М.В. Михайлова. — Сп. б. : Филос.-культурол. исслед. центр «Эйдос», 1998. — Вып. 6. — 532 с.
2. Бахтин М.М. Эстетика словесного творчества / М.М. Бахтин. — М. : Искусство, 1998. — 423 с.
3. Межуев В.М. Культура и история / В.М. Межуев. — М. : Политиздат, 1997. — 202 с.
4. Визгин В.П. Научный текст и его интерпретация / В.П. Визгин // Методологические проблемы историко-научных исследований. — М., 2002. — С. 64–75.
5. Гадамер Х. Истина и метод: основы философской герменевтики / Х. Гадамер. — М. : Прогресс, 2005. — 699 с.
6. Дильтей В. Введение в науки о духе : соч. в 6 т. / В. Дильтей. — М. : Дом интеллектуальной книги, 2000.
Т. 1. — 2000. — С. 270–730.
7. Кармин А.С. Менталитет и индукция в гуманитарном понимании / А.С. Кармин // Известия СП: ГЭТУ, ЛЭТИ. Философские проблемы социальных и гуманитарных наук. — Сп. б, 2008. — Т. 2. — С. 27–43.
8. Ходякова Л.А. Методика интерпретации текста как феномена культуры / Л.А. Ходякова // Ярославский педагогический вестник. — 2011. — № 2. — Том II. — С. 76–80.

*Рекомендована до друку д.філос.н., проф. ЛДАКМ ім. М. Матусовського Патерикіной В.В.,
к.філос.н., доц. каф. СГД ДонДТУ Сандигой О.І.*

Стаття надійшла до редакції 27.05.16.

к.ист.н. Глушко Т.М. (ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ЕКЗЕСТЕНЦИАЛЬНЫЙ И ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ РЕСУРС ДОКУМЕНТА

В статье сделана попытка проработки нового ракурса понимания документа, совмещающего традиционные герменевтические методологии с идеей культурологически обоснованного экзистенциально-онтологического подхода к феномену документа, который анализируется по критериям истины объективности и обоснованности. Документ рассматривается как онтологический феномен, как явление культуры. В системе коммуникации «субъект понимания — документ» доминирует экзистенциально-ориентированная мотивация.

Ключевые слова: документ, текст, экзистенциальный, онтологический ресурс, социальная коммуникация.

PhD in History, Assistant Professor Glushko T.M. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

EXISTENTIAL AND ONTOLOGICAL DOCUMENT'S RESOURCE

The author has made an attempt to study new point in understanding a document, which combines traditional hermeneutic methodologies with an idea of culturally grounded existential and ontological approach to document's phenomenon analyzed by criteria of the truth objectivity and reasonableness. The document is considered to be ontological phenomenon as well as a cultural event. In communication system «subject for understanding — a document» existentially oriented motivation is prevailing.

Key words: document, text, existential, ontological resource, social communication.

УДК 141.132

к.филос.н. Сандыга О.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

НИЦШЕ О КРИЗИСЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗМА

Проанализированы идеи Ф. Ницше, раскрывающие кризис интеллектуализма, его понимание значения кризиса современной культуры для развития человечества. Осмыслено им отчуждение личности от общества и трагизм человеческого бытия.

Ключевые слова: интеллектуализм, антиинтеллектуализм, культура, кризис интеллектуализма, рациональность, современность.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Новый век, в который вступило человечество, представляет собой информационную эпоху, характеризующуюся динамическими изменениями во всех сферах социального бытия, когда теряется причастность человека к общему целому, разрушается обычная структура жизни с ее обязанностями, определенным распорядком, направляющими принципами, а это может привести к потере смысла человеческого существования, к потере ценностей. Поэтому в исследованиях явлений радикальных изменений все более актуальным становится понятие «кризиса интеллектуализма», что подчеркивает угрожающую ситуацию, очерчивает круг тех проблем, которые требуют неотложного решения. В данном контексте особую актуальность осмысления феномена кризиса интеллектуализма осуществили в свое время А. Шопергауэр, С. Кьеркегор, Ф. Ницше, Э. Гуссерль, М. Хайдеггер и другие. Как отмечают многие мыслители, классические произведения исследователей кризиса «человеческого духа», «европейской человечности» приобретают сегодня «второе дыхание».

Выдающийся немецкий «биограф» кризиса Ф. Ницше создал впечатляющую картину кризиса человеческого духа, искусно показал процесс отчуждения личности от общества, от собственных сущностных сил, трагичность его бытия. Именно критический потенциал его концепции, в которой заложена идея «отрицание традиций» и делает её такой привлекательной в глазах многих мыслителей. Ницше уда-

лось в самом зародыше угадать и выделить те главные проблемы, которые впоследствии составят особенности развития философии нашего времени. Неудивительно, что его философия переживает сегодня своеобразный ренессанс. Можно сказать, что проблемы, поднятые философией Ницше, и решения, им предложенные, актуальны до сих пор и требуют разностороннего переосмысления.

Постановка задачи. Задачей данного исследования является осуществление специального анализа ницшеанской критики интеллектуализма, понимание им недостатков, недугов западноевропейской культуры, вызвавших кризис последней, тем более, что общеизвестно, насколько существенно современный постмодернизм обязан именно Ницше ключевыми положениями собственного видения судьбы современной культуры. Целью исследования является выявление степени последовательности ницшеанского антиинтеллектуализма и присущих ему черт.

Изложение материала и его результаты. Начало XXI века обнажило звериное лицо техногенной цивилизации, и многие современные мыслители в полный голос заговорили о том, что следствием экспансии технической рациональности является «колонизация жизненного мира», а человеческое существование приобретает такие определения, как «потеря смысла», «потеря ориентации» [1, с. 21].

Как бы предвидя современную ситуацию, Ф. Ницше видел главные мотивы «декаданса» западной культуры в её рационализации.

Существует немало оснований полагать, что исходя из откровенно иррационалистической и релятивистской трактовки «воли к власти» как основы онтологического принципа, он диагностирует катастрофичность современного ему общества, прежде всего как следствие противостояния двух начал бытия — «дионисийского» (жизненно-ориентированного) и «аполлоновского» (созерцательно-упорядоченного). Типу человека современной ему культуры он противопоставляет образ «сверхчеловека» с его «волей к власти», которому «присущи такие важные качества: антиморализм; антисоциализм; антидемократизм; антиинтеллектуализм; антифеминизм; антисемитизм; антихристианство». Нельзя не согласиться с Ю. Хабермасом в том, что все ложные стороны культуры обусловлены, прежде всего, недугом, болезнью её основы — аполлоновского рационального начала, поэтому и выздоровление культуры связаны с восстановлением её дионисийского начала [2, с. 96 - 97].

Эти предварительные замечания наводят на мысль о полном антиинтеллектуализме Ницше, поскольку именно интеллект предстает в роли виновника кризиса современной ему культуры и именно с ним нужно «расправиться» для ее выздоровления. Развитие культуры Ф. Ницше понимал как результат адаптации человеческого существа к условиям своего существования. Человек, будучи изначально «слабым животным», вынужден использовать в этом процессе не волю, а интеллект. Философ неоднократно обвиняет интеллект в неадекватности жизни. Рациональность, если она заложена в основе культуры, по мнению Ф. Ницше, несет ей гибель, поскольку средства языка являются оторванными от реальности, которая характеризуется изменчивостью и вечным становлением. В своей работе «Так говорил Заратустра» мыслитель пишет, что всё идет, всё возвращается; вечно вращается колесо бытия [3, с. 158]. Деятельность интеллекта приводит к созданию сферы повторяющихся значений, которые, в свою очередь,

формируют поведенческие стереотипы, пригодные только для толпы. Интеллект подавляет инстинктивную волю к жизни, вызывая деградацию личности. Динамика жизни является неуловимой для разума, истинное улавливание сущностей происходит благодаря рефлексии, реальность целостно схватывается в искусстве через чувственно-образное восприятие, фантазию, интуицию.

Ф. Ницше объясняет культуру как антиномическую по сути, вызываемую противоречием между рефлексией и интуицией, между умственно расчленённым и интуитивно-целостным постижением мира. В зависимости от доминирования одной из двух основ начала культуры наблюдается существование двух её типов. Первый тип — «Аполлоновская культура» — связана с рационализмом, сознательным противопоставлением личности к миру, осуществляет оформленность с помощью слова, дискурсивность, с попыткой упорядочить мир одной его упрощения, схематизации; парадигма заключается в тяготении субъекта, отчужденного от объекта, к рациональности, осознанности, осмысленности [4, с. 105]. Предельное развитие аполлоновского начала ведет к стереотипизации культуры, к культу посредственности, что, по мнению Ф. Ницше, как раз характеризует западноевропейскую культуру, которая приобретает формы «массовой культуры». В массовой культуре царит «коллективная воля массы слабых», в ней все узнаваемо и привычно, она радуется непринужденности ограниченных людей, редуцируя личность в серую посредственность, которая, чтобы сохранить себя, стремится к утверждению равенства с помощью «морали рабов» с ее нормами милосердия и сострадания. Тем самым человек, превращаясь в «лабиринтного человека», не способен на творчество, а только репродуцирует существующие ценности, отрицая свою индивидуальность.

Переживая за судьбу европейского человека, Ф. Ницше выступает против культивирования нигилистического инстинкта,

против эгалитарности, против тех духовных форм, их обеспечивающих, и, прежде всего, против христианства и религии вообще. Мыслитель презирает христианство как нигилистическую, пессимистическую религию за её ориентацию на толпу, полагая, что в нём «попирается: обездоленное, неудачное», ведь христианству, по его мнению, нужны были варварские понятия и оценки, чтобы господствовать над варварами [3, с. 647 - 648]. Религиозный пессимизм, считает Ф. Ницше, должен быть осужден как образ мыслей, «который отличается наиболее крайним отрицанием мира из всех возможных направлений мыслей», через него религии «задержали тип» человека «на более низкой ступени; они сохранили слишком многое из того, что должно было погибнуть» [3, с. 289]. Поэтому Ф. Ницше такой неумолимый и бескомпромиссный в борьбе с «проповедниками смерти», поэтому он так негодует на сторонников буддизма, отмечая, что: «от чахотки души: едва родились они, как уже начинают умирать и жаждут учений об усталости и отречения. Встретится им больной, или старик, или труп, и сразу говорят: «жизнь — страдание!». Но только они страдают и их глаза, видящие только одно в существовании» [3, с. 32].

Ф. Ницше, признавая ошибочность постулата о божественном творении мира (прежде всего — рационалистических экспликаций данного представления), провозглашает неотвратимость падения связанных с ним высших идеалов и ценностей: «Бог умер! Бог не воскреснет. И мы его убили!». Оказавшись в ситуации, когда просто необходимо увидеть новые ценностные горизонты, он обращается к идее о превосходстве тела над разумом: «слушайте братья мои, голос здорового тела, это — более правдивый и чистый голос» [3, с. 24]. «Тело — это большой разум, множественность с одним сознанием... оно не говорит «Я», но делает «Я» [3, с. 24]. Таким образом, Ф. Ницше осуществляет переоценку всех ценностей: сбрасывая с

трона разум, и поднимая на высшую ступень «телесную волю к власти» — инстинкт, интуицию.

Так Ницше, по мнению М. Поповича, сформулировал в противовес романтическому пессимизму эрзац жизнерадостной силы — идеологию отчаянного индивидуализма, которая находит поддержку в коллективном дионисийском экстазе [5, с. 23].

Второй тип культуры — «дионисийский», по Ф. Ницше, представляет собой элитную сферу деятельности человека, одаренного волей к жизни, связанного с творческим отношением к миру, с проявлением всех человеческих свойств. В её основе лежит эмоционально-чувственное «схватывание действительности личностью, не противопоставленной миру, а будто бы слитой с ним, то есть избегающей субъектно-объектного противостояния» [4, с. 104 - 105], на это был способен человек эпохи возникновения европейской цивилизации и будет способен будущий сверхчеловек. Сверхчеловек отошел от склонности «слушать Бога», сам создает культурные ценности, отвергая власть всевозможных авторитетов. Он сознательно идентифицирует себя как лидера в отношении обычных людей, как абсолютно свободного человека, который предпочитает и действует, создавая элитарную, аристократическую культуру для поколений творческих личностей. Она принимает жизнь такой, какая она есть, со всей болью и скорбью, относясь к жизни как к высшей ценности, любит жизнь, защищает ее, опровергая пессимизм и слабость людей толпы, она укореняет в культуре свободу духовной самореализации, стихию чувств и влечений, гармонизированных с помощью воли. Аристократическая культура характеризуется изысканностью, исключительностью, обособленностью, поскольку способна подчеркивать естественную неоднородность. Аристократическая личность в её контексте должна почувствовать себя «не функцией, а смыслом и высшим оправданием существующего строя», поскольку подчинение низших слоев «находится в связи с сущностью всего живого» и является «след-

ствием воли к власти» [3, с. 380 - 381]. Такая культура создает сверхчеловека: «идеал человека, полного крайней жизнерадостности и мироутверждения, человека, не только научившегося довольствоваться и мириться с тем, что было и есть, но хочет повторения всего этого так, как оно уже было веками...» [3, с. 284].

Итак, отправной точкой рассуждений Ф. Ницше является экзистенциальное затруднение человека, поскольку последний поработен своим разумом. Отсутствие свободы порождено онтологической дезориентацией человека вследствие применения разума как неадекватного средства восприятия реальности и самопознания, а освобождение предполагает актуализацию спонтанных творческих способностей сверхчеловека, его волю к власти, его здоровых инстинктов, что будет способствовать фундаментальной идентичности человека и реальности. Сверхчеловек как персонифицированная воля к власти, утверждая себя, утверждает жизнь и мир.

Ю. Хабермас, исследуя взгляды Ф. Ницше по проблеме проявления дионисийской культуры, вполне убедительно резюмирует, что, согласно им, самотрансцендирование личности происходит, «только когда субъект теряет себя, когда он удаляется от прагматического опыта в пространстве и во времени, когда он возбужден шоком неожиданности, когда он ... находит забвение в момент; когда категории разумного делания и мышления нарушены, нормы повседневной жизни разрушены, потеряны привычные иллюзии, — только тогда открывается непредсказуемый и совершенно удивительный мир». Дионисийская реальность открывает доступ к искусству лишь ценой экстаза, ценой слияния индивида «с аморфной природой, внутренней и внешней», через отсоединение путем «бездны забвения» «наперекор миру теоретического знания и морального воздействия, вопреки повседневности» [2, с. 97]. По Ю. Хабермасу, именно из-за недостатка привычного разума «Ницше обращается к переживаниям, которые возвращают нас к ар-

хаике: к опыту саморазоблачения, децентрации, субъективности, освобожденной от всех пут познания и целевозлагающей деятельности, всех императивов полезности и нравственности» [2, с. 98].

Подчеркивая деструктивный характер традиционной западноевропейской культуры, заключающейся в осуществляемом ею разрушении спонтанности телесных сил, в подведении жизни к единству когнитивных актов, Ф. Ницше будто уничтожает основания для претензий разума на истинность: из прерывистых принципов действия разум не способен создать единство «я», поэтому и в нравственной сфере он, только, прибегая к насилию над различными и спонтанными по своей природе поступками, подводит их под единство «я». Разум порочит аутентичную природу жизни, поэтому чтобы выздороветь от сознания, нужна провокация воли для обращения к первичному говорению, к игре телесности. Путём достижения идеала освобождения от действия разума является обуздание сознания с его мнимым единством «я», что порождает стремление найти новый язык, который гармонизировал бы с игрой телесности; такому требованию отвечает сверхразумная метафоричность, достичь высшего уровня, который возможно только в экстатическом состоянии, когда исчезает иллюзия идентичности, центрированности волевой функции «я». Отсюда следует, что результатом опыта переоценки ценностей выступает столь полное торжество жизни, которое поглощает интеллект, разум.

Аргументы, подтверждающие антиинтеллектуализм Ф. Ницше, кажутся неопровержимыми. Однако следует более детально исследовать и другие взгляды философа. Как отмечают многие мыслители современности, Ф. Ницше присущ специфический стиль, характеризующийся иронией, склонностью к гиперболизации и гротеску при продуцировании своих чувств, настроений и позиций. И поэтому важно не только вчитаться в текст, но и

выявлять скрытый за ним подтекст содержания дерзких речей и сентенций [6, с. 116]. Это дает повод говорить о том, что его инвективы направлены скорее не на интеллект и рациональность как таковые, а на их ограниченную механистическую интерпретацию. Интерпретация, как пишет Ф. Ницше, предполагающая числа, счет, взвешивание, наблюдение и ничего более, — есть неотесанность и наивность. По его мнению, «научная» интерпретация мира могла бы быть одной из самых слабоумных среди всех возможных интерпретаций мира, если бы она основывалась только лишь на механистических воззрениях. В своем произведении «Веселая наука» Ф. Ницше пишет: «Говорю это на ухо и совесть господам механикам, которые сейчас охотно крутятся у философов и намертво убеждены в том, что механика является учением о первых и последних законах, на которых как на фундаменте должно быть сведено всё бытие. Но механический по сути мир был бы миром по существу бессмысленным!» [7, с. 700]. Он возражает против неправомерного расширения «полномочий» механистического понимания мира, против экспансии его в сферу искусства: «Допустим, что значимость музыки оценивалась бы тем, насколько может быть она вычисленной, сформулированной, — абсурдной была бы такая «научная» оценка музыки» [7, с. 700]. Как видим, Ф. Ницше не выражает антиинтеллектуалистической позиции, а лишь стремится утвердить более глубокое и богатое по содержанию понимание интеллекта. Он вообще постоянно апеллирует именно к разумности, интеллекту, смыслу, выступая против бессмысленности, слабоумия, абсурдности, поэтому едва ли не самым любимым его контраргументом, так сказать, последним доводом является тезис, который демонстрирует его большое уважение к интеллекту: «Вот по-моему — полная *reductio ad absurdum*» [3, с. 251 - 252].

В сущности познавательного процесса Ф. Ницше четко выделил элементы нового понимания им интеллекта: 1) познание

рассматривается как средство приспособления к реальности, как орудие и средство сохранения и поддержания жизни, которому оно подчинено; 2) познание неразрывно связано с эмоциями, представляя собой единство рационального и иррационального; 3) познание всегда относительно, включает в себя субъективный момент. Ф. Ницше возражает против чрезмерного акцентирования суверенности интеллекта в жизни человека, субъективных потребностей, эмоций, воли, вообще всякого бессознательного и иррационального. Он пишет, что с незапамятных времен рассматривали сознательное мышление как мышление вообще, только сейчас открывается нам истина, что большая часть наших духовных процессов протекает в нас бессознательно, бесчувственно [7, с. 652]. Он подчеркивает субъективность восприятия мира, говоря о том, что то, что мы теперь зовем миром, является результатом множества заблуждений и фантазий [7, с. 249]. Но такие убеждения не содержат антиинтеллектуализма.

Трудно согласиться и с тем, что антиинтеллектуализм Ф. Ницше тесно связан с дискредитацией значения истинности мышления, с отождествлением её с порочностью. Мыслитель был особенно чувствителен к истине, прежде всего в сфере нравственности: он не терпел нравственной фальши, предпочитая жестокую правду перед «дружелюбным» обманом, он ненавидел лицемерие в жизненном применении христианской морали, он остро чувствовал пагубность и для познания, и для жизни разногласий между нормами морали и жизнью: «О, эти добрые! Добрые люди никогда не говорят правды; для духа быть добрым — болезнь» [3, с. 144], «...лучше слушайте, братья, голос здорового тела: Это более правдивый голос» [3, с. 24].

Даже впадая в преувеличение значения «жизнь», «воля к жизни», исповедуя культ жизненной силы, Ф. Ницше и здесь не отказывался от истинности и разумности — по крайней мере, в конечном счете, в ко-

нечной цели. С его точки зрения, «гений культуры», который прокладывает новые пути, «принимает как свои орудия ложь, насилие и самый бесстыдный эгоизм ... но его иногда просвечивающиеся цели являются крупными и благими» [3, с. 368]. Таким образом, гений является рациональным, действует разумно, подобно врачу, причиняя временную боль для достижения здоровья человечества, и именно для таких высоких целей допустимо руководствоваться нормой: «Не щади ближнего своего и падающего подтолкни» [3, с. 151].

Бесспорно, антиинтеллектуализм Ф. Ницше является сложным, нелинейным принципом. Только вообразим себе, что Ф. Ницше появился среди живых. Не отшатнулся ли бы он от «оголтелой» толпы собственных сторонников? Не стал ли бы он отстаивать права разума против господства иррациональности в учениях своих постмодернистских поклонников и основателей методологического анархизма? Не стал ли бы он будить усыпленный, укрощенный и усмирённый разум? Или не явил бы себя миру как самый активный антиницшеанец, если бы пережил опыт попыток воплощения в историческую динамику слепую к разуму волю к власти? Да, Ф. Ницше превозносил волю к власти, инстинкт, интуицию, видя в них ценность, превосходящую по своему значению разум, грезил их суверенностью; он действительно потеснил интеллект, чтобы предоставить верховенство жизни, но не более того. Необходимо помнить, что он — мыслитель, противоречивый до неуловимости, выразительно подчеркивающий относительность всевозможных ценностей. И поэтому было бы совсем не удивительно, если бы на фоне почти полного растерзания разума, присущего современной философии, он со всей своей иронией, стремлением к новизне и пренебрежением к штампам культуры начал бы разгромную критику претензий на познавательную плодovitость исключительно только иррациональных духовных образований.

Это касается и его отношения к истине. Несомненно, у него есть попытки лишить познание понятия истины вместе с разумом, дискредитируя действительность и субъекта, и объекта: «Почему мир, имеющий к нам некоторое отношение, не может быть фикцией? ... Разве не позволено относиться прямо-таки с некоторой иронией как к субъекту, так и к предикату, и к объекту?» [3, с. 268 - 269]. Но все утверждения мыслителя есть зыбкими для его слишком образцовых и серьезных последователей с их жаждой буквального восприятия его речей. Понятие истины отнюдь не чужда Ф. Ницше, он не пренебрегает им, а широко пользуется словами «истина», «искренность», «правдивость», «подлинность» (например, он четко различает иллюзорный и действительный порядок вещей и т. п.), то есть он использует это понятие, когда считает нужным, будучи вообще далеким от того, чтобы заставлять себя подгонять к настоящему даже свои собственные ранее высказанные мысли. Вот и получается, что наряду с клеймом, присущим его эпохе пиетета к истине имело место погружение человечества в некритично усваиваемые различные догмы и прежде всего религиозные, Ф. Ницше всегда безоговорочно принимал характеристики, основанные на данных категориях. Поэтому он акцентировал такие качества сверхчеловека, как свободу перехода в незнание, заблуждение, освобождение от рабского сознания, способность поставить перед собой прямую и четкую цель.

Противоречивость взглядов Ф. Ницше в оценке роли интеллекта и истинности, его колебания «между двумя стратегиями» проникновенно описывает Ю. Хабермас. С одной стороны, мир можно воспринимать как эстетический феномен, и тогда он «возникает как сеть искажений и интерпретаций, для которых ни одна интенция, ни один текст не обеспечен основами», вместе с чувственностью «смыслотворческая сила конституирует аутентичный стержень воли-к-власти», которая «является в то же время волей к иллюзии, волей к

упрощению, мистификации, возвышению», и «сама жизнь основывается на иллюзии, обмане, оптике, необходимости перспективного и ошибке». С другой стороны, Ф. Ницше не может без апелляции к разуму «легитимировать критерии эстетического суждения», поскольку именно разум является моментом критической способности, необходимой для «утверждения ценности», а разум связан «с объективным знанием и нравственным пониманием в процессе подведения аргументированных предпосылок» [2, с. 98 – 100].

Исследуя творчество Ф. Ницше, О. Н. Соболев указывает те причины, которые, по мнению Ф. Ницше, являются основными в рамках завершения культуры модерна. Первая причина заключается в гипертрофии роли разума, абстрактного рационализма в этой культуре, в её стремлении найти опору в убеждениях о способности разума самолегитимизировать себя, в его неспособности трезво оценивать свою контекстуально-историческую ограниченность. Вторая причина связана с разочарованием в научно-техническом прогрессе, с возникновением кризиса сознания, восставшего против Рациона, который силой гармонизирует всё и вся, против спекулятивно-утопического системобразования, против отказа от внимания к судьбе человеческой экзистенции [6, с. 77].

Таким образом, можно сделать вывод о глубоком своеобразии ницшеанского антиинтеллектуализма. Он не такой тотальный, монолитный и последовательный, как можно было бы представить, исходя из ведущего волюнтаристского ницшеанского положения о господстве воли к власти, учитывая откровенно манифестированный им иррационализм, интуитивизм. Антиинтеллектуализм Ницше может истолковываться, так сказать, *cum grano salis*, несмотря на весьма ощутимую его противоречивость, относительность и ситуативность. Весьма точно резюмирует амбивалентность отношения Ф. Ницше к интеллекту Е. Э. Ханпира: Ницше убежден, что «разум низкий, только искусство благород-

ное», однако для существования искусства «нужно отчуждение от объекта созерцания и творчества, нужен разум и закон, мера и гармония», ведь «искусство невозможно без света сознания, каким бы «иррациональным» оно не было» [4, с. 112–113].

Более того, Ф. Ницше, несмотря на разностороннюю критику интеллектуализма, так и не решился оставить его основы, ведь ему всегда казалось, что «потерять голову, потерять собственное «я», отказаться от света сознания — значит рисковать, значит подставить себя под удар» [4, с. 112]. Поэтому великий мыслитель современности М. Хайдеггер, предостерегая своих современников, говорил об опасности, которая связана, прежде всего, с равнодушием «к размышлению и полное бездумство», соседствующее «с хитроумием исчисляемого планирования и изобретательства», именно оно способно погубить все человечество [8, с. 111]. И эта идея М. Хайдеггера значительным образом перекликается и приближается к идеям Ницше, а никоим образом не отрицает их, как это может показаться на первый взгляд.

Выводы и направление дальнейших исследований. Критикуя интеллектуализм, Ницше не затрагивает его основы. Его критика интеллектуализма направлена, прежде всего, против ограниченного, механистического, застывшего, затертого, интеллектуализма, который превозносится высокомерным интеллектом. Ф. Ницше упрекает такого рода интеллектуализм в покушении на первичность и полноценность жизни, на разнообразие, и красочность культуры, тем самым, защищая ее основания. Ницшеанские нарекания интеллекта вскрывают главным образом действительные болезни последнего и не касаются его здоровых корней, крепкого ствола, мощной кроны, богатых плодов и плодотворных ростков. Без сомнения, данное исследование антиинтеллектуализма Ф. Ницше имеет весьма контурное очертание, глубокое же выявление его границ и существенных черт еще впереди.

Бібліографічний список

1. Єрмоленко А.М. Комуникативна практична філософія: підручник / А.М. Єрмоленко. — К. : Лібра, 1999. — 488 с.
2. Габермас Ю. Філософський дискурс Модерну / Ю. Габермас ; пер. з нім. та комент. В.М. Купліна. — К. : Четверта хвиля, 2001. — 424 с.
3. Ницше Ф. Фридрих Ницше : сочинения в 2-х томах / Ф. Ницше. ; пер. с нем.; под ред. К.А. Свастьян. — М. : Мысль, 1990. Т. 2. — 1990. — 829 с.
4. Ханпир Е.Э. Античная трагедия и трагедия античности (Фридрих Ницше: «Рождение трагедии из духа музыки») / Е.Э. Ханпир // Вопросы философии, 2000. — № 9. — С. 102–113.
5. Попович М. Романтизм як стиль та ідеологія / М. Попович // Філософська думка. — 2004. — № 6. — С. 3–30.
6. Соболев О.М. Філософський постмодерн і сучасність / О.М. Соболев // Суспільство на порозі ХХ століття: філософське осмислення плінного світу : навч. посібн. (Відп. ред. В.С. Пазенок). — К. : Укр. Центр духовної культури, 1999. — С. 75–124.
7. Ницше Ф. Фридрих Ницше : сочинения в 2-х томах / Ф. Ницше. ; пер. с нем.; под ред. К.А. Свастьян. — М. : Мысль, 1990. Т. 1. — 1990. — 820 с.
8. Хайдеггер М. Разговор на проселочной дороге / Мартин Хайдеггер. ; пер. с нем.; под ред. А.Л. Доброхотова. — М. : Высш. шк., 1991. — 192 с.

Рекомендована к печати д.филос.н., проф. ЛГАКИ им. М. Матусовского Патерыкиной В.В., к.филос.н., доц. каф. СГД ДонГТУ Кониной Л.В.

Статья поступила в редакцию 27.05.16.

к.филос.н. Сандига О.І. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

НИЦШЕ ПРО КРИЗУ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗМУ

Проаналізовано ідеї Ф. Ніцше, що розкривають кризу інтелектуалізму, його розуміння значення кризи сучасної культури для розвитку людства. Осмислено їм відчуження особистості від суспільства і трагізм людського буття.

Ключові слова: інтелектуалізм, антиінтелектуалізм, культура, криза інтелектуалізму, раціональність, сучасність.

PhD Sandyga O.I. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

NIETZSCHE ABOUT INTELLECTUALISM'S CRISIS

The ideas of F. Nietzsche have been analyzed revealing intellectualism's crisis, his understanding the importance of crisis in contemporary culture for human progress. He comprehended a person's estrangement from society and human being tragedy.

Key words: intellectualism, anti-intellectualism, culture, intellectualism's crisis, rationality, contemporaneity.

СОДЕРЖАНИЕ

ГОРНЫЕ НАУКИ

Литвинский Г.Г. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ НА КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК	5
Литвинский Г.Г. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВОКРУГ ЛАВЫ	16
Степанов Е.И., Петров А.Г., Авершин А.А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ В ЛАВЕ УВЛАЖНЕНИЕМ УГОЛЬНОГО МАССИВА	25
Ларченко В.Г., Коваленко Е.В., Маталкина Ю.А. ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНЫХ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ШИРИНЫ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА	30
Денисенко В.П., Чинчак О.О., Павленко М.Ю., Тетеря Е.В. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ В ВЫРАБОТКАХ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ ГЛУБОКИХ АНТРАЦИТОВЫХ ШАХТ ДОНБАССА	36

МЕТАЛЛУРГИЯ

Новохатский А.М., Диментьев А.О. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ШЛАКА В ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ, ПРИ НАЛИЧИИ ТОТЕРМАНА	45
Шубин Ю.П. ПРОБЛЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭПОХИ ПОЗДНЕЙ БРОНЗЫ (НА ПРИМЕРЕ КАРТАМЫШСКОГО АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДОНБАССА)	51
Рутковский Ю.А., Ризун В.И., Рутковский А.Ю., Найчук В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ДАВЛЕНИЯ ВО ВСАСЫВАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА ПРИ ДВИЖЕНИИ ГАЗА В НЕЙ С ДОЗВУКОВОЙ СКОРОСТЬЮ	57
Денищенко П.Н., Королёв К.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ДЕФОРМИРУЮЩЕЙ ЗОНЫ РАДИАЛЬНЫХ ВОЛОК ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ТРУБ НА ЗАКРЕПЛЕННОЙ ОПРАВКЕ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ	64
Коробко Т.Б., Токарев А.В. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПРИ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАКЕТА DEFORM 2D	69

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Будзило Е.Е., Горовая Н.А., Псюк В.В., Усенко В.Н. НОВЫЙ МЕТОД УСТРОЙСТВА ГИДРОИЗОЛЯЦИИ С УТЕПЛЕНИЕМ ПОДВАЛЬНОЙ ЧАСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ	77
--	----

Усенко В.Н., Будзило Е.Е., Горовая Н.А., Кубышкина И.А. СТРОИТЕЛЬСТВО «ПАССИВНЫХ» ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКИ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА.	80
---	----

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Мотченко А.И., Столяров В.Н. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С МОДЕЛЬНЫМ ПРОГНОЗИРУЮЩИМ УПРАВЛЕНИЕМ	87
---	----

Карпук И.А., Щелоков А.Г. АСИНХРОННЫЙ ВЕНТИЛЬНЫЙ КАСКАД, УПРАВЛЯЕМЫЙ ПО РОТОРУ, С ПОВЫШЕННЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ	96
--	----

Полилов Е.В. ОЦЕНКА ГРАНИЦ БОЛЬШИХ УКЛОНЕНИЙ ФАЗОВЫХ ПЕРЕМЕННЫХ В ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ	103
--	-----

Щелоков А.Г., Карпук И.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНОЙ СВЯЗИ В РЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СО СКОЛЬЗЯЩИМИ РЕЖИМАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ФРИКЦИОННОЙ НАГРУЗКИ	122
---	-----

Юрьев С.А., Парфений В.И. ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА С ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ НАКАЧКОЙ	127
---	-----

МЕХАНИКА

Корнеев С.В., Доброногова В.Ю., Долгих В.П. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО НАТЯЖНОГО УСТРОЙСТВА ЗАБОЙНОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА ПРИ СТОПОРЕНИИ ТЯГОВОГО ОРГАНА	135
--	-----

Левченко Э.П., Павлиненко О.И., Власенко Д.А. ПРИМЕНЕНИЕ РАЗГОННО-УДАРНЫХ МЕЛЬНИЦ ДЛЯ РАСКАЛЫВАНИЯ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ СКОРОСТНЫХ РАСЧЕТОВ.	143
---	-----

Ульяницкий В.Н., Петров П.А. ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРОФИЛЯ НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗКИ ФАСОННОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА СОРТОВЫМИ НОЖНИЦАМИ	149
---	-----

Власенко Д.А., Левченко Э.П., Павлиненко О.И. АНАЛИЗ ОТКЛОНЕНИЯ МОЛОТКОВ С КОМБИНИРОВАННЫМ КРЕПЛЕНИЕМ БИЛ В ДРОБИЛКАХ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ	156
Мороз В.В., Левченко Э.П., Левченко О.А. ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОДНОВАЛКОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ДРОБИЛКИ	161

ЭКОНОМИКА

Гришко Н.В., Кунченко А.В., Куденко М.С. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «УЧЕТ И АУДИТ»	171
Белозерцев О.В., Лысак Ю.А. ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКИХ АЛЬТЕРНАТИВ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	177

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Глушко Т.М. ЕКЗИСТЕНЦІЙНИЙ І ОНТОЛОГІЧНИЙ РЕСУРС ДОКУМЕНТА	187
Сандыга О.И. НИЩЕ О КРИЗИСЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗМА	194