

УДК 658.588.8; 658.588.5; 658.522

Н. С. Масляков, ведущий инженер,
Научный руководитель: **М. С. Островский**, проф., д.т.н., Московский
государственный горный университет.

E-mail: kaftmr@msmu.ru

Концепция обеспечения горных предприятий запасными частями для оперативного ремонта машин и оборудования «без запасов»

Приведено описание концепции самообеспечения технологических машин и оборудования горных предприятий запасными частями за счёт их оперативного изготовления в производственных единицах ремонтного фонда. Описан алгоритм формирования программы выпуска запасных частей, приведены требования к технологии и средствам производства, даны рекомендации по применению средств информационной поддержки конструкторско-технологической подготовки.

Ключевые слова: запасные части, ремонтная мастерская, концепция обеспечения запасными частями.

N. S. Maslyakov, M. S. Ostrovskiy

Strategy of Spare Parts Supply of Mining Enterprise for Repair Technological Machines and the Equipment «Without Inventories»

The description of the strategy of self-supply of technological machines and the equipment of the mining enterprise by spare parts due to their operational manufacture is provided in repair job shops. The algorithm of formation of the program of release of spare parts is described, requirements to technology and means of production are provided, recommendations about application of means of information support of design-technology preparation are made.

Keywords: spare parts, repair job shop, strategy of spare parts supply.

Одной из наиболее значимых статей затрат при добыче полезных ископаемых являются потери, связанные с поддержанием работоспособного состояния технологических машин и оборудования, которые могут достигать 33-35% всех затрат на добычу, при этом около 50% из них приходится на снабжение запасами частями (ЗЧ). Ситуация сильно ухудшается тем, что на многих горных предприятиях в России

широко применяется зарубежная техника, для поддержания высокого уровня готовности которой необходимо своевременное обеспечения их ЗЧ заданного качества. Дефицит ЗЧ в нужное время в нужном месте могут привести к огромным потерям из-за простоев техники.

Если проанализировать номенклатуру ЗЧ, необходимых для поддержания в работоспособном состоянии технологические машины и оборудования, то можно выявить, что большинство деталей относится к общемашиностроительным деталям и могут быть изготовлены на месте эксплуатации техники в производственных единицах ремонтного фонда горного предприятия. Однако анализ работ, посвящённых вопросу повышения эффективности обеспечения ЗЧ выявил малое внимание исследователей к данному направлению, не смотря на его высокую важность для технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Причиной тому является сложность производственных условий, обусловленных в первую очередь широкой, постоянно меняющейся номенклатурой ЗЧ, низким уровнем организации технологии производства, слабым уровнем технического оснащения и дефицитом квалифицированных специалистов.

По нашему мнению, для решения данного вопроса необходимо комплексное решение, которое заключается в создании целой концепции направленной на совершенствования самообеспечения горных предприятий отдельными группами ЗЧ. Основными задачами данной концепции является повышения уровня готовности техники и снижение объёмов запасов на складах ЗЧ за счёт оперативного производства определённых групп ЗЧ непосредственно вблизи эксплуатируемой техники. Решение данных задач позволит вовремя обеспечить потребности в ЗЧ заданного уровня качества, сократив при этом до минимума ремонтные потери.

Сформулируем основные положения концепции самообеспечения ЗЧ «точно вовремя» (или концепции «ремонта с минимумом запасов») и коротко опишем их содержание:

1. Отбор программы выпуска ЗЧ производственных единиц ремонтного фонда горного предприятия выполняется по алгоритму, учитывающему особенности производственных условий при изготовлении ЗЧ. В качестве комплексного критерия отбора берутся средние удельные затраты на снабжение, величина которых складывается из составляющих затрат и рассчитывается по следующей обобщённой формуле

$$Z_{\Sigma \text{суз}} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{оф}} + Z_{\text{хр}} + Z_{\text{деф}} \quad (1)$$

где $Z_{\text{пр}}$ – средние удельные затраты на приобретение ЗЧ; $Z_{\text{оф}}$ – средние удельные затраты на оформление заказа; $Z_{\text{хр}}$ – средние удельные затраты на содержание ЗЧ; $Z_{\text{деф}}$ – средние удельные потери потребителя от простоев, вызванных отсутствием в нужное время в нужном месте требуемой ЗЧ.

Для того, чтобы оценить, эффективно ли изготовить ту или иную ЗЧ в производственной единице ремонтного фонда, необходимо сравнить суммарные средние удельные затраты на снабжение – стоимости владения ЗЧ при самообеспечении и при закупке. Воспользуемся для их расчёта формулами теории управления запасами.

Для расчёта минимальных средних удельных затрат на снабжение и соответствующего им оптимального уровня запаса с учётом неудовлетворённых требований² воспользуемся целевой функцией, применяемой для расчёта периодической модели с (T, R) -стратегией УЗ – при закупке у *производителя* и целевой функцией, применяемой для расчёта оперативной модели с (r, q) -стратегией УЗ (при $q = 1$) – при «*самообеспечении*».

Так, после введения ряда допущений и преобразований целевые функции стоимости владения ЗЧ, в зависимости от варианта источника пополнения ЗЧ будут иметь вид:

- при покупке ЗЧ у дистрибьютора

$$Z_{\text{пок}}(R_{\text{пок}}) = C_{\text{пок}} + \frac{A_1 + A_2 p_z}{T} + J C_{\text{пок}} \left[R_{\text{пок}} - \lambda \left(\tau_{\text{пок}} - \frac{T}{2} \right) \right] + (J C_{\text{пок}} + \xi) B(1; R_{\text{пок}} - 1; T) \rightarrow \min; \quad (2)$$

- при самообеспечении ЗЧ

$$Z_{\text{изг}}(R_{\text{изг}}) = C_{\text{изг}} + \lambda(A_1 + A_2) + J C_{\text{изг}}(R_{\text{изг}} - \lambda \tau_{\text{изг}}) + (J C_{\text{изг}} + \xi) B(R_{\text{изг}}) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где A_1 и A_2 – стоимость оформления и подачи заказа соответственно; T – интервал времени между последовательными заказами (при покупке ЗЧ); p_z – вероятность подачи заказа при произвольной проверке (при покупке ЗЧ); J – коэффициент издержек содержания запасов; C – стоимость единицы запаса (соответственно при покупке и изготовлении); R – уровень размещения заказа (соответственно при покупке и изготовлении); τ – время поставки (при покупке) или изготовления (при самообеспечении); ξ – стоимость простоя техники, пропорциональные продолжительности времени наличия дефицита; λ – средняя интенсивность спроса (интенсивность отказов); $P(R; \lambda \tau)$ – вероятность спроса за время поставки и изготовления $\tau_{\text{изг}}$ и $\tau_{\text{пок}}$ соответственно при пуассоновском распределении спроса (отказов); $B(R)$ – ожидаемое число учтённых требований.

В каждом конкретном случае (по отдельным позициям), сравниваются полученные минимальные значения средних удельных затрат на снабжения. В итоге, наиболее эффективным является тот вариант обеспечения, у которого $Z_{\text{изг}}(R_{\text{изг}}^*)$ и $Z_{\text{пок}}(R_{\text{пок}}^*)$ будет наименьшим. В конечном итоге, алгоритм программы выпуска производственной единицы ремонтного фонда будет иметь вид Рис. 1.

² Дефициты, которые в первую очередь ликвидируются при очередном пополнении запаса.

В приведённом алгоритме первым важным условием является диапазоны значения конструкторско-технологических критериев, которые оценивают имеющиеся производственные условия. Таким образом, усовершенствование технологии изготовления запасных частей позволит добиться расширения программы выпуска ЗЧ.

При сформированных производственных условиях зная диапазоны значения конструкторско-технологических критериев и воспользовавшись алгоритмом, приведённом на Рис. 2. можно не рассчитывая средние удельные затраты на снабжение в первом приближении отобрать программу выпуска, которая дальше можно будет уточнить, проведя необходимые расчёты.

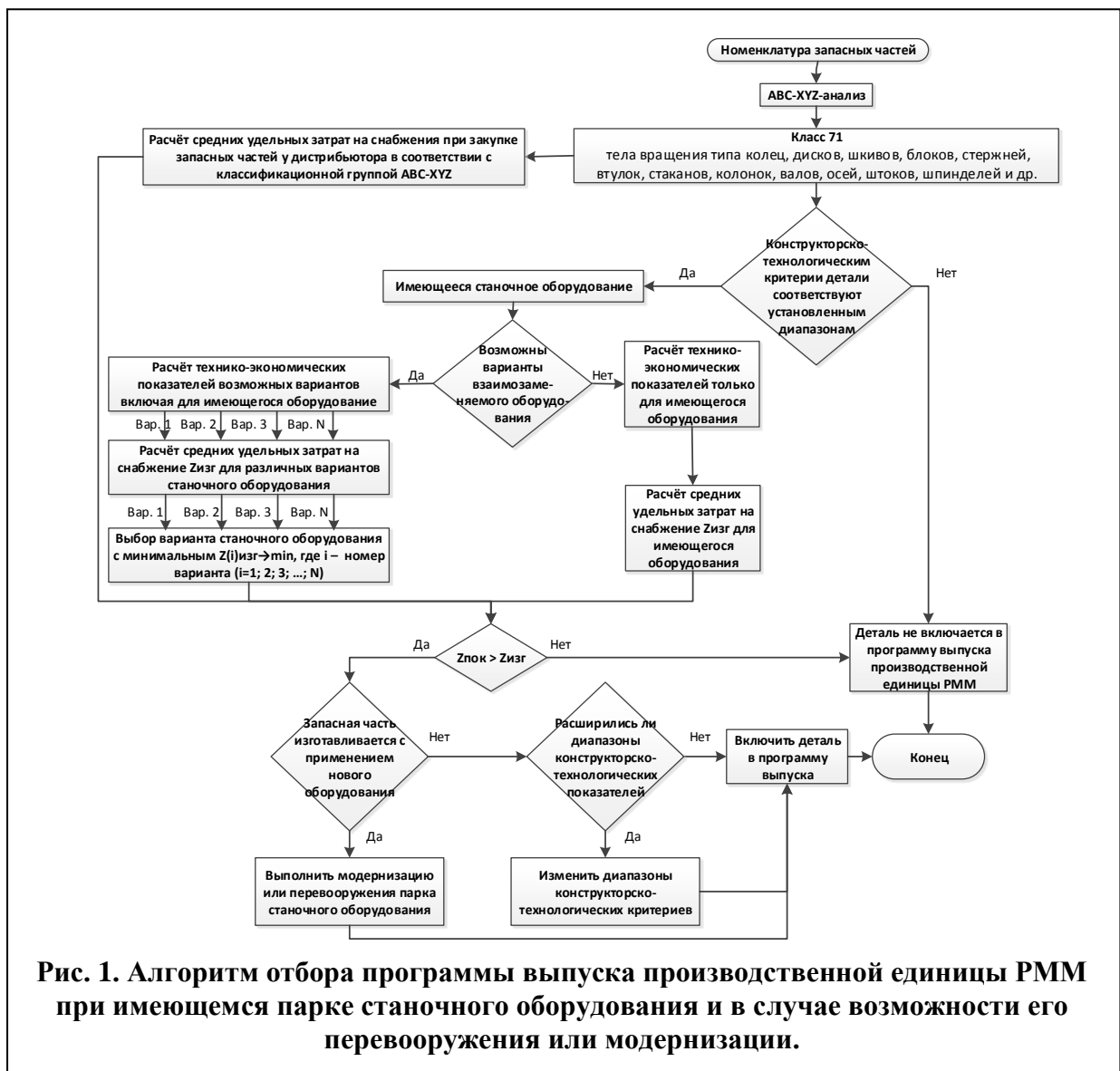
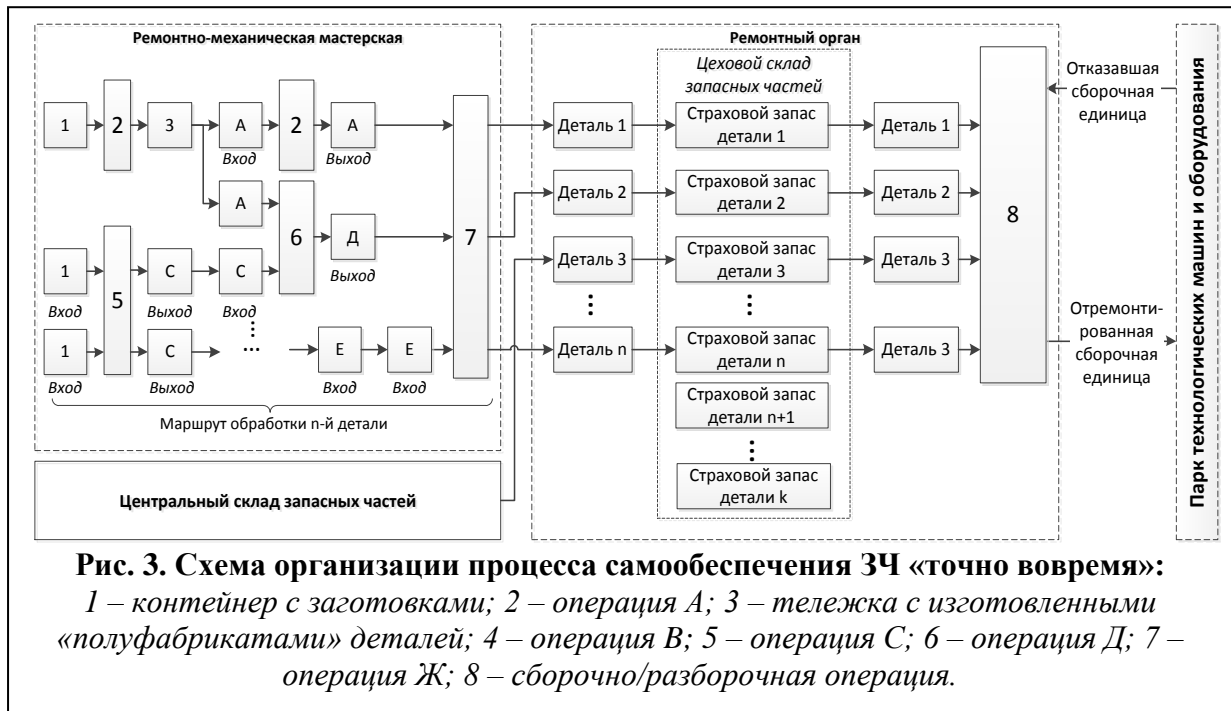


Рис. 1. Алгоритм отбора программы выпуска производственной единицы РММ при имеющемся парке станочного оборудования и в случае возможности его перевооружения или модернизации.



2. Применение диагностики и мониторинга технического состояния машин и оборудования для прогнозирования остаточного ресурса работы наблюдаемых агрегатов и входящих в них деталей, подлежащих замене при отказе. Повышение эффективности применения предлагаемой концепции для максимального удовлетворения требования принципа «точно вовремя» необходимо выполнять мероприятия по ТОиР машин и оборудования по их фактическому состоянию. Таким образом появляется возможность оперативно определять место возникновения неисправности или дефекта, выполнять наблюдение его изменения во времени и осуществлять прогноз дальнейшего развития с целью предсказания момента возникновения отказа, для своевременного его устранения. Зная возможную причину и момент отказа узла или агрегата машины, можно заблаговременно подготовить необходимый комплект ЗЧ для оперативного удовлетворения заявки на замену отказавших элементов. Это позволит сократить объём страхового запаса и свести к минимуму время задержки поставки, а значит и связанные с ними затраты на снабжение. Однако данный подход возможен только для тех ЗЧ, для оценки остаточного ресурса которых существуют соответствующие методики диагностики, мониторинга технического состояния и определения остаточного ресурса. В противном случае в качестве сигнала к производству могут использоваться средние статистически данные по отказам, вызванным образованием дефектов ЗЧ, входящих в программу выпуска.

3. Использование модульной технологии для производства ЗЧ в соответствии с принципом стратегии управления «Just in Time» («точно вовремя»). Для организации изготовления ЗЧ в производственных единицах и самообеспечения ими ремонтного органа, в котором выполняется ТОиР принципу «точно вовремя» нами предложен метод, основанный на идее японского метода «kanban» («производство без запасов»), принцип работы которого можно описать схемой, приведённой на Рис. 3.



В данной системе управления процессом самообеспечения ЗЧ осуществляется через заключительный этап – сборку/разборку неисправного агрегата обслуживаемых единиц МиО в ремонтном органе горного предприятия. При этом реализуется принцип «вытягивания» разрешения на производство, при котором изготовление очередного комплекта ЗЧ в РММ, выполняется только (и немедленно) при возникновении потребности в них. Принцип действия системы «вытягивания» при самообеспечении ЗЧ заключается в следующем. При начале ремонта неисправной сборочной единицы, в момент изъятия комплекта ЗЧ из «контейнера» для замены отказавшей детали новой ЗЧ, пустой «контейнер» возвращается в РММ. Получив его, РММ приступает к изготовлению нового комплекта ЗЧ и отправляет его в ремонтный орган в жёсткие сроки. Таким образом, ремонтный орган, запускает производство РММ. Аналогичная система действует и внутри в РММ между рабочими, выполняющими последовательные операции технологического процесса.

Во избежание дефицита ЗЧ используется страховой запас. В отличие от традиционных систем управления запасами, при самообеспечении его

величина определяется в зависимости от времени поставки, рассчитываемого исходя из длительности технологического процесса изготовления комплекта ЗЧ, конструкторско-технологической подготовки производства, оценки возможности изготовления, принятия заявки и поставки изготовленного комплекта ЗЧ и дополнительно 10% на непредвиденные расходы времени.

Для создания РММ на ремонтной базе горного предприятия, обеспечивающей возможность применения поточного метода производства при единичном изготовлении деталей широкой номенклатуры необходимо, чтобы технология производства соответствовала следующим требованиям:

1. возможность эффективного изготовления единичных деталей при их широкой и постоянно-меняющейся номенклатуре;
2. высокая гибкость КТПП для обеспечения короткого времени её выполнения за счёт автоматизации (информационной поддержки) создания ТП и формирования баз данных их типовых решений;
3. обеспечение минимума производственных запасов при фиксированном наборе материалов и компонентов за счёт автоматизации их учёта;
4. жёсткий график производства с минимальными колебаниями и отклонениями, обеспечиваемый за счёт оптимальной расстановки оборудования с возможностью синхронизации его работы путём применения информационной поддержки для контроля их работы и взаимодействия на всём производственном процессе;
5. высокая надёжность и гибкость станочного оборудования для обеспечения бесперебойной работы и производства;
6. обеспечение высокого уровня качества за счёт комплексного управления им при изготовлении деталей и на всём протяжении производственного процесса, с возможностью постоянного визуального контроля в ходе производственных операций с расчётом на полное отсутствие дефектов;
7. невысоки требования к квалификации рабочих, высокая степень заинтересованности, возможность освоения станков различных типов.

Реализация указанных требований возможно при переходе на *модульную технологию* производства, внедрения *средств информационной поддержки производства и современного гибкого станочного оборудования*. Более подробное описание технологии, объединяющий приведённые выше инновационные решения приведено в следующей статье.

4. Применение средств автоматизации для информационной поддержки конструкторско-технологической подготовки производства, управления технологическими процессами и контроля качества изготовления ЗЧ. Предлагаемая концепция самообеспечения ЗЧ

парка технологических МиО подразделений горнодобывающих предприятий «точно вовремя» предполагает активное использование производственных единиц, максимально приближенных к потребителю и выполняющих «подетальное» производство ЗЧ. По нашему мнению из возможных вариантов их организация, наиболее целесообразным является вариант когда производственные единицы, изготавливающие ЗЧ входят в состав локального и регионального ремонтно-механического завода (РМЗ), выполняющего капитальные ремонты машин и оборудования. На сегодняшний день современные РМЗ крупных горных компаний реализована информационная поддержка производственного процесса.

Ярким примером, демонстрирующим эффективность использования средств автоматизации для информационной поддержки технологии производства ЗЧ, является ремонтно-механический завод (РМЗ) «Казцинкмаш», входящий в состав АО «Казцинк» (Республика Казахстан) крупного интегрированного производителя цинка с сопутствующим выпуском меди, свинца и драгоценных металлов. На РМЗ «Казцинкмаш» осуществляется ремонт парка технологических и вспомогательных машин и оборудования (МиО) и выполняется производство ЗЧ к ним. Для повышения эффективности производства ЗЧ на РМЗ «Казцинкмаш» 2008 – 2012 гг. совместно со специалистами инженерно-консалтинговой компании «Солвер» был выполнен проект технического перевооружения предприятия за счёт применения современных технологий. В основу процесса перевооружения предприятия положены:

1. экспертный анализ номенклатуры ЗЧ и выявление из них наиболее приоритетной (критической номенклатуры);
2. конструкторско-технологическая подготовка производства ЗЧ с применением средств автоматизации CAD³, CAM⁴, CAPP⁵.
3. разработка типовых технологически процессов и внедрение станков с ЧПУ, режущего инструмента и оснастки;
4. комплексное управление инженерной информацией с применением PDM⁶-системы интегрируемой с системой управления производственными ресурсами ERP⁷ для создания единой информационной среды;
5. разработка специальной нормативной базы, поддерживающие новые технологические процессы;
6. подготовка и сертификация специалистов;

³ Computer-Aided Design (CAD) – автоматизированная система конструкторского проектирования.

⁴ Computer-Aided Manufacturing (CAM) – автоматизированная система технологического проектирования управляющих программ для обработки деталей на станках с ЧПУ.

⁵ Computer-Aided Process Planning (CAPP) – автоматизированная система технологической подготовки производства.

⁶ Product Data Management (PDM) – автоматизированная система управления проектными данными.

⁷ Enterprise Resource Planning (ERP) – автоматизированная система управления ресурсами предприятия.

7. реинжиниринг, основанный на разработке методики «восстановления» 3D-моделей запасных частей на основе облаков точек, полученных в результате измерения вышедших из строя деталей с помощью КИМ.

Таким образом, в случае создания производственных единиц ремонтного фонда горных предприятий, являющихся подразделениями РМЗ, возникает необходимость их включение в единое информационное пространство. Наличие такой иерархии и единого информационного пространства, объединяющего всех участников системы технического обслуживания и ремонта, позволяет приблизить производственные единицы к месту эксплуатации парка технологических и вспомогательных машин и оборудования, сохранив при этом все преимущества единой структуры ремонтного предприятия и возможностей их информационной поддержки за счёт применения соответствующих средств автоматизации. Однако до сих пор такая система не реализована и причина в этом кроется, по нашему мнению, в несоответствующем уровне развития применяемого в производственных единицах металлообрабатывающего станочного оборудования и низком уровне технологии.

5. Использование адаптированного для условий ремонтного производства современного гибкого станочного оборудования. Исходя из перечисленных выше требований к технологии, станочное оборудование ремонтных предприятий должны соответствовать следующим требованиям:

1. повышенная гибкость;
2. простота работы и обслуживания;
3. высокий уровень надёжности работы и точности станка;
4. не высокие требования к квалификации рабочего (оператора).;
5. повышенная безопасность работы;
6. возможность контроля процессов обработки деталей рабочим (оператором) и сбора статистики работы станка;
7. высокий уровень повторяемости (при мелкосерийной обработке);
8. не высокая себестоимость;
9. упрощённая технологическая подготовка производства с безбумажным обменом информацией.

Для оценки результатов реализации предлагаемой концепции самообеспечения рассмотрим реальный пример, демонстрирующий возможный экономический эффект, который может быть достигнут.

За год работы ПДМ Sandvik Toro-1400E (247 дней) расходуется 8 бронзовых втулок ковша. Рассматривается ситуация внезапного отказа. Стоимость покупки оригинальной ЗЧ 6000 руб./шт., себестоимость её изготовления в производственной единице ремонтного фонда 8000 руб./шт. Коэффициент содержание запасов на складе составляет 0,2 от стоимости детали. Стоимость оформления заказа составляет 5000 руб., подачи заказа составляет 5000 руб., переналадки оборудования на выпуск

новой партии 35000 руб. ПДМ работает в три смены по 8 ч в смену с производительностью 100 тон руды в час, Процентное содержание апатита в руде составляет около 40%. Стоимость 1 т апатитового концентрата около 3865 руб. Среднее время задержки поставки ЗЧ при их закупке у дистрибьютора производителя ПДМ – 35 сут., время задержки поставки при самообеспечении – 3-е сут. Оценим средние годовые затраты на снабжение и оптимальный уровень запаса на цеховом складе, УЗ на котором выполняется с применением в случае самообеспечения – оперативной модели с (r, q) -стратегий и при закупки у дистрибьютора – периодической модели с (T, R) -стратегией (в обоих случаях запас пополняется при каждом очередном требовании, т.е. при $q = 1$) и определим наиболее эффективного поставщика.

Для расчёта минимальных средних годовых затрат на снабжение и оптимального уровня запаса воспользуемся формулами (2) – при самообеспечении и (3) – при закупке у дистрибьютора. С целью упрощения расчётов в MS Excel была разработана имитационная математическая модель. Подставив в данную модель исходные данные, получим решение задачи в графическом виде см. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Из графиков видно, что оптимальный уровень запаса при самообеспечении ЗЧ составляет $R_{изг}^* = 2$ детали, при этом затраты на снабжения равны $Z_{изг}(2) = 12881$ руб., а при поставке от дистрибьютора $R_{пост}^* = 9$ деталей, $Z_{пост}(9) = 15735$ руб. Таким образом, для данного случая наиболее эффективнее будет самообеспечение, т.е. изготовление в производственных подразделениях ремонтного фонда, так как $Z_{изг}(R_{изг}^*) < Z_{пост}(R_{пост}^*)$.

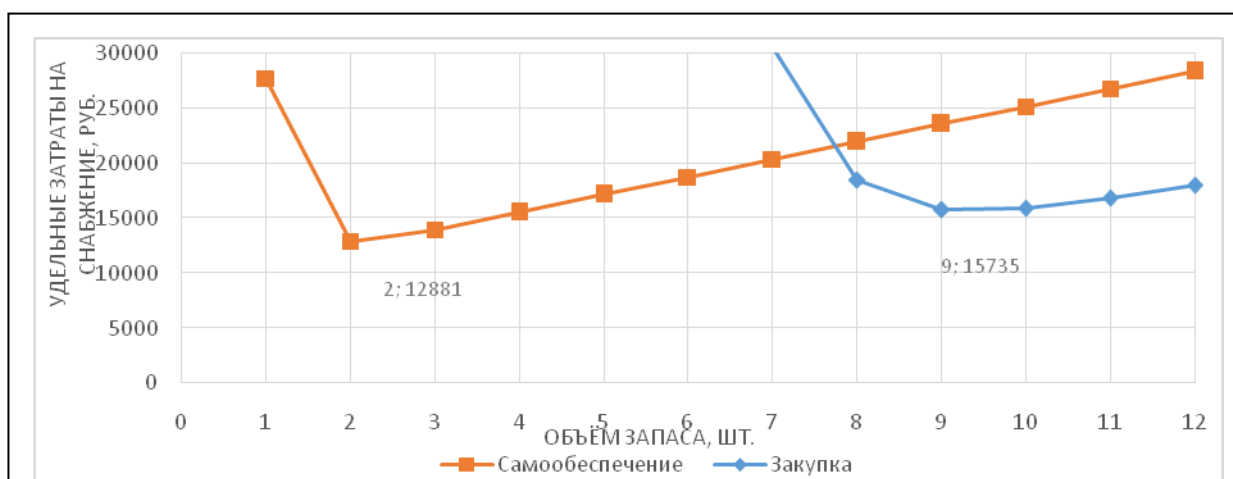


Рис. 4. Графики зависимости суммарных удельных затрат на снабжение от уровня запаса для случаев поставки запасных частей от производителя техники или дистрибьютора и при самообеспечении.

Из приведённого примера наглядно видно эффективность изготовления ЗЧ в непосредственной близости от места эксплуатации технологических машин и оборудования, который позволил сэкономить

около 20% средств. Данный эффект может быть увеличен, при обеспечении ЗЧ машин и оборудования, имеющих очень высокую стоимость простоев. Помимо этого оперативность изготовления запасных частей оказывает влияние на коэффициент готовности машин и оборудования, а значит и на надёжность их эксплуатации, что является очень важным условием не только для экономической эффективности их применения но и для безопасности рабочих при горных работах.

Список литературы

1. **Базров Б.М.** Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.
2. **Баркова Н.А., Дорошев Ю.С.** Неразрушающий контроль технического состояния горных машин и оборудования. – Владивосток: ДВГТУ, 2009, - 157 с.
3. **Бирбраер Р. А., Камчаткин В. В., Московченко А. В.** Особенности модернизации ремонтных предприятий крупных добывающих и металлургических холдингов // Умное производство. - 2012. - март №1 (17). - С. 31-36.
4. **Хедли Дж., Уайтин Т.** Анализ систем управления запасами: Пер. с англ. 1969, - 512 с.
5. **Шонбергер Р.** Японские методы управления производством (девять простых уроков). М.: Экономика, 1988. – 251 с.