

4. Petre M. Biotechnology of mushroom pellets producing by controlled submerged fermentation/ M. Petre, A. Teodorescu, E. Tultca, C. Bejan, A. Andronescu//Romanian Biotechnological Letters. - 2010. – V. 15. -№ 2. – P. 50 – 56
5. Joo JH. Optimization of submerged culture conditions for exopolysaccharide production in *Sarcodon aspratus* (Berk) S.Ito TG-3/ J.H. Joo, J.M. Lim, H.O. Kim, S.W. Kim, H.J. Hwang, J.W. Choi and J.W. Yun // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2004. –Volume 20. –pp.767-773.
6. Malinowska E. Improved simultaneous production of mycelial biomass and polysaccharides by submerged culture of *Hericium erinaceum*: optimization using a central composite rotatable design (CCRD) / E. Malinowska, W. Krzyckowski, G. Lapienis, F. Herold // J Ind Microbiol Biotechnol. –2009. –Volume 36. – pp. 1513-1527.

Анализ надежности оборудования для переработки отходов производства и потребления композиционных слоистых упаковочных материалов

к.т.н. Гонопольский А.А.
Университет машиностроения
gonopol85@mail.ru

Аннотация. В статье проанализированы вероятностные характеристики отказов оборудования для переработки отходов многослойной упаковки, созданного по государственному контракту №14.527.12.0023 «Разработка комплексной опытно-промышленной технологии рециклинга отходов производства и потребления композиционных слоистых упаковочных материалов». На основании результатов подконтрольной эксплуатации опытно-промышленной технологической линии и расчетов распределений плотности вероятности отказов, определено наиболее надежное оборудование и показаны возможные меры организационного характера (корректировке графика ППР) по снижению количества отказов.

Ключевые слова: надёжность технологического оборудования, технология рециклинга отходов, многослойная упаковка.

Надежность оборудования является основой экологической безопасности производства, поскольку в случае аварии возникает вероятность загрязнения окружающей среды вредными компонентами. Для предприятий по переработке отходов это актуально еще и потому, что в случае длительной остановки линии (цеха, завода) практически всегда встает вопрос о том, где тогда перерабатывать и утилизировать отходы, поскольку прекратить их образование невозможно. Поэтому отсутствие жизнеспособной системы сбора, переработки и утилизации отходов может привести к серьезному ухудшению экологической обстановки в городе. А для того, чтобы такая система работала необходимо учитывать надежность характеристики используемого оборудования, поскольку именно они определяют работоспособность каждого предприятия и системы в целом.

Помимо возможного негативного воздействия на окружающую среду при возникновении отказов нельзя не учитывать и экономические потери: затраты на ремонт и замену деталей, недополученная прибыль и т. д.

Технологическая схемы комплексного технологического процесса рециклинга отходов производства и потребления композиционных слоистых алюминированных упаковочных материалов представлена на рисунке 1.

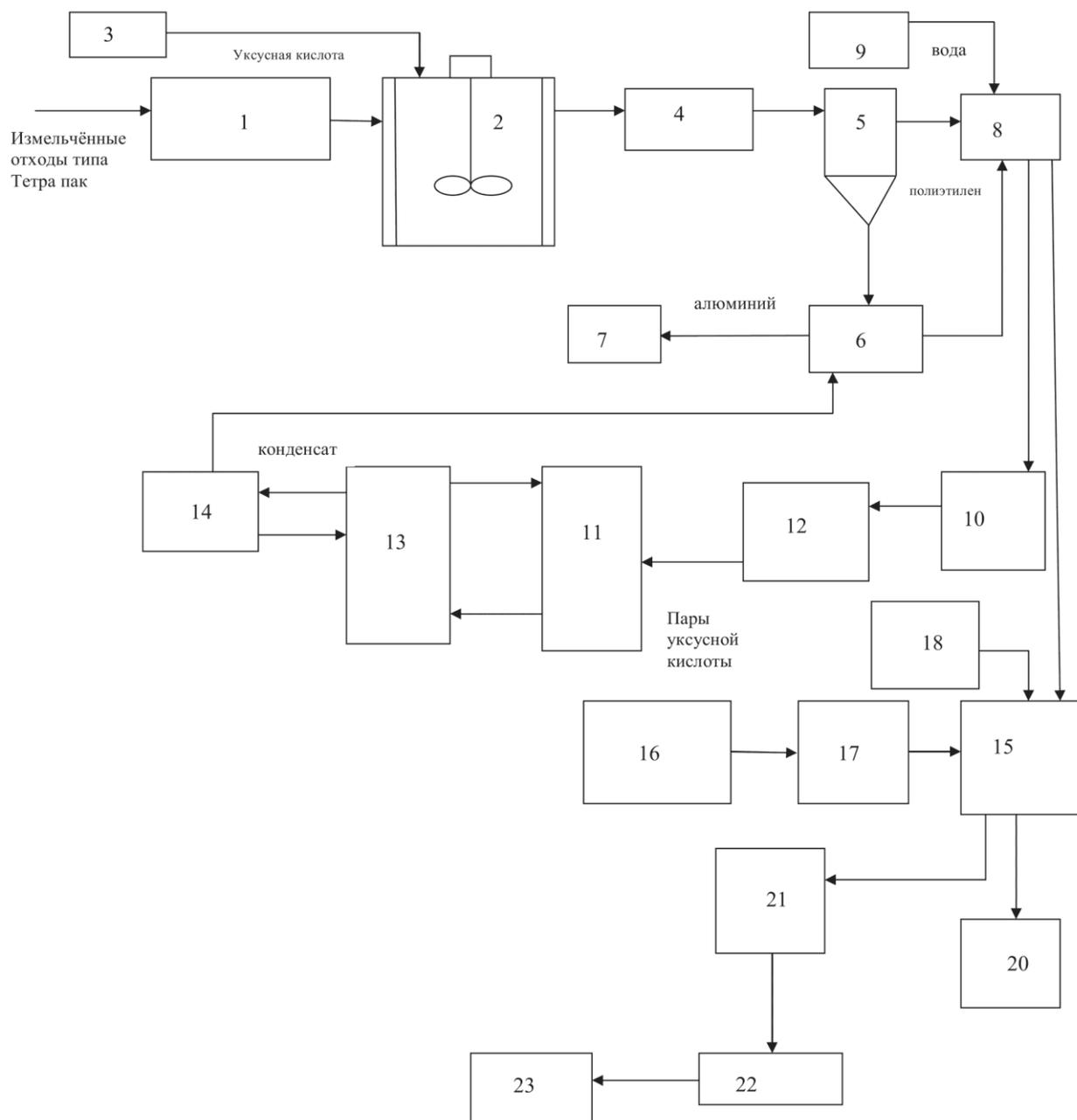


Рисунок 1. Технологическая схема комплексного технологического процесса рециклинга отходов производства и потребления композиционных слоистых алюминированных упаковочных материалов

Отходы производства или потребления упаковки поступают на измельчение в дробилку 1. После измельчения полиэтилен и алюминиевая фольга шнековым питателем подаются в реактор с мешалкой 2, в который непрерывно из ёмкости 3 поступает раствор уксусной кислоты для химического разделения слоёв полиэтилена и алюминия [1]. Температура реагента в реакторе не превышает 85 °С (давление в реакторе атмосферное) и обеспечивается электробойлером нагревающим воду до 120 °С. Нагретая вода циркулирует по рубашке обогрева реактора. Время пребывания упаковки в реакторе до полного отделения алюминиевой фольги составляет примерно один час. Смесь слоёв полиэтилена и алюминия поступает в роторно-пульсационный аппарат (РПА) 4, из которого, смесь подаётся в гидроциклон 5 с давлением, равным выходному давлению РПА. Окончательное разделение смеси частиц осуществляется в гидроциклоне. Из него алюминий поступает на промывку в бак с промывной

водой 6 за счёт напора насоса (1,5 атм.) и далее поступает в ёмкость 7, а промывная вода поступает в оборотный контур. Раздробленная плёнка полиэтилена из гидроциклона поступает на отмывку в вибросито 8. Вода на промывку подаётся насосом из ёмкости с водой 9.

Смесь воды с кислотой собирается в ёмкости 10. Отделение уксусной кислоты осуществляется ректификацией в ректификационной колонне 11 по следующей схеме. Уксусная кислота (80% по весу) из ёмкости 10 насосом подаётся в кипятильник 12, где она водой из бойлера нагретой до 120 °С превращается в пар. Пары уксусной кислоты подаются в нижнюю часть колонны, а сверху она орошается раствором воды с уксусной кислотой подаваемой из колонны 13 насосом. Выходящие пары поступают в нижнюю часть колонны 11. В середине колонны происходит орошение ситчатых тарелок грязной уксусной кислотой. В верхней части колонны 13 образуется водяной пар. После дефлегматора 14 часть конденсата воды подается в верхнюю часть колонны 13, а часть возвращается в ёмкость с водой. Это вода затем используется промывки плёнки полиэтилена в вибросите 8. Пластичную вторичную полимернаполненную композиционную массу (ВПНКМ) получают в экструдере и формуют на валковом прессе. Дробленая плёнка из вибросита 8 шнековым питателем подаётся на сушку в агломератор 15 за счет трения. Сюда же, в агломератор, шнековым питателем подаётся плёнка, образующаяся после роторно-ножевой дробилки 16 и её промывки на моечной машине 17. В агломераторе 15 образуются гранулы смеси бумаги и полиэтилена, которые за счет трения подсушиваются в течение 30 –35 минут.

Таблица 1.

	Шнек ТЛ-1 загрузки ре- актора	Шнек ТЛ-2 загрузки полимерных от- ходов на вибросито	Шнек ТЛ-3 загрузки экс- трудера
Среднее значение в период наблюдений, ч	540	596	707
Прогнозное значение, ч	190-890	286-905	330-1080
Критерий Z, тонн исходного сырья	691	763	905

Отходы бумаги подвергаются измельчению в молотковой дробилке 18, а затем шнековым питателем подаются в агломератор 15. Полученная агломерированная смесь шнековым питателем подается в формующие машины, где затем перерабатывается в различные изделия. На экструдере 20 – в стренги или профильные материалы; на валковом прессе 21 – методом горячего вальцевания получают листовой материал. Листовой материал после резки на режущем штампе 22, пластинчатым конвейером 23 транспортируется на склад.

Анализ наработки на отказ проводился по результатам трехмесячных круглосуточных испытаний всего комплексного технологического процесса (КТП). Для удобства сравнения качества работы подобных устройств перейдем от часовой наработки на отказ к параметру Z. Для перехода используем следующее соотношение:

$$Z=60Gt, \quad (1)$$

где Z – количество тонн исходного сырья, за период работы, равный времени наработки на отказ; t – наработка на отказ, ч; G – производительность шнека, т/ч

В таблице 1 приведены средние и прогнозные значения наработки на отказ и параметра Z. Прогнозные значения наработок определялись как интервальные оценки с вероятностью попадания значения наработки на отказ в данный интервал 95 %.

В качестве критерия, подтверждающего правильность выбора закона распределения, принимается критерий Колмогорова. Если уровень значимости по статистике Колмогорова больше 0,05, то выборка подчиняется выбранному закону распределения[2].

Закон распределения	Шнек ТЛ-1		Шнек ТЛ-2		Шнек ТЛ-3	
	Параметры закона распределения	Уровень значимости	Параметры закона распределения	Уровень значимости	Параметры закона распределения	Уровень значимости
Вейбулла	α-параметр формы 0,7730 β-параметр масштаба 612,859	0,9703	α-параметр формы 0,8748 β-параметр масштаба 705,047	0,9230	α-параметр формы 0,9458 β-параметр масштаба 893,997	0,8435

Из таблицы 2 видно, что распределение наработки на отказ для шнеков загрузки подчиняется закону Вейбулла [3]. Это распределение непрерывной случайной величины, которая может принимать только положительные значения с плотностью вероятности:

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} x^{\alpha-1} e^{-x^\alpha/\beta}, \quad (2)$$

функция распределения:

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x^\alpha}{\beta}}. \quad (3)$$

и вероятность безотказной работы:

$$P(x) = e^{-\frac{x^\alpha}{\beta}}. \quad (4)$$

Оно хорошо описывает отказы механических систем в начальный период эксплуатации и отказы из-за усталостных разрушений.[3]

Немаловажным фактом для надежности оборудования является частота технических осмотров и капитального ремонта. Данные по отказам, усталостные разрушения, износ деталей учитывается при составлении графика планово-производственных работ (ППР).

Как правило, для составления графика ППР используют усредненные значения наработок на отказ, не принимая во внимание индивидуальные параметры (качество монтажа и ремонта, условия эксплуатации и т. д.). Поэтому может возникнуть ситуация, когда число внеплановых ремонтов будет велико. Для исследуемого оборудования, согласно расчетному графику ППР, останов и полный осмотр с заменой износившихся деталей предусмотрен примерно раз в год. С учетом коэффициента загрузки в среднем между циклами данное оборудование должно работать 6500 часов в год. На графике распределения плотности вероятности это определяет зону предельных состояний (см. рисунок 2). Это та область, в которой работает оборудование по расчетному графику ППР, т.е. ее величина равна времени между двумя последующими плановыми ремонтами. При этом из рисунка 3 видно что, вероятность безотказной работы приобретает значения от 0,5 до 0,25, т. е. велика вероятность того, что в течение заданного периода потребуются внеплановые ремонты. Следовательно, более предпочтительным является уменьшение периода между плановыми ремонтами. Например, в случае вероятности безотказной работы, равной 0,5, время цикла будет примерно 2500 часов для шнека №1. Так формируется зона приемлемых условий, т.е. та область, которая соответствует выбранной вероятности безотказной работы, удовлетворяющей предъявленным требованиям к надежности оборудования. Таким образом, если зона приемлемых условий работы меньше зоны предельных состояний, необходима корректировка графика ППР.

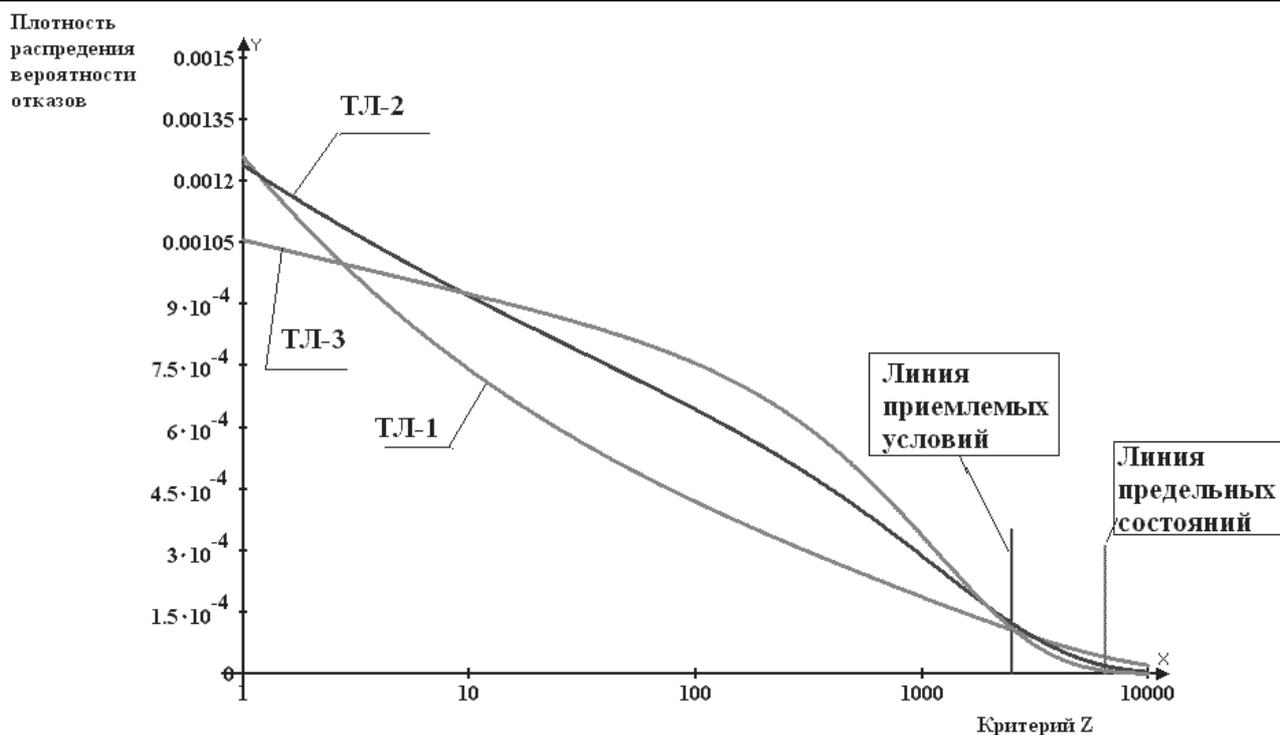


Рисунок 2. Распределение плотности вероятности отказов для шнеков загрузки КТП

Для анализа отказов шнеков загрузки КТП использовалось следующее предположение: из-за малого количества данных за рассматриваемый период для ТЛ-2 и ТЛ-3, было принято, что закон распределения наработок на отказ – экспоненциальный, так как при установившемся режиме работы технического объекта это один из часто встречающихся законов распределения.

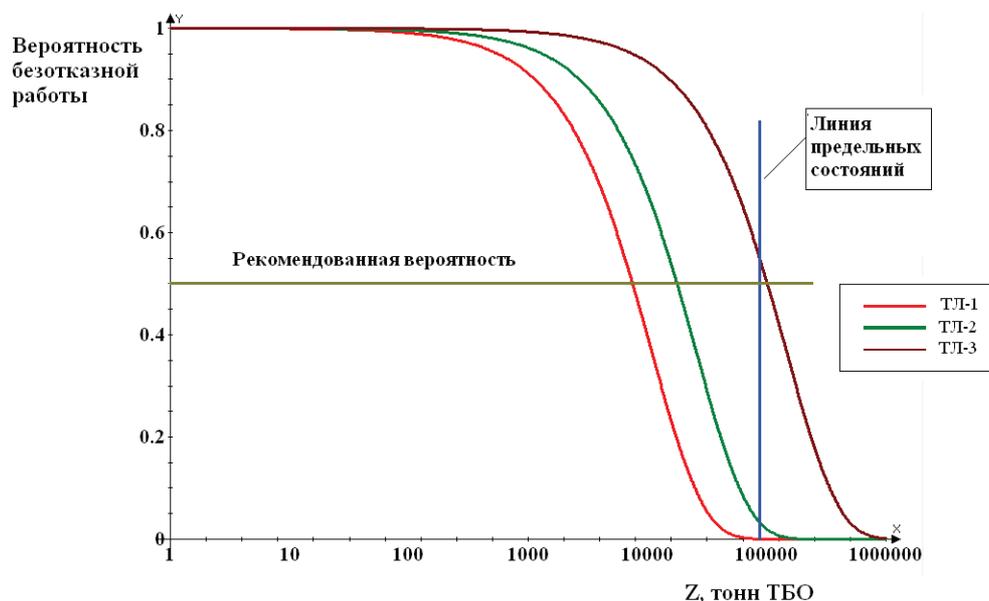


Рисунок 3. График вероятности безотказной работы для шнеков загрузки КТП

На рисунке 4 видно, что для зоны предельных состояний ТЛ-3 предельная вероятность безотказной работы примерно равна 0,55, что больше рекомендованного значения 0,5. Для ТЛ-1 и ТЛ-2 вероятность безотказной работы значительно ниже рекомендованной, поэтому для этих линий необходима корректировка графика ППР в сторону сокращения времени работы между двумя последовательными плановыми остановами.

При обработке данных по отказам КППТ было также выявлено, что основные проблемы связаны с двумя участками: конвейерами, выгружающим исходное сырье - отходы потребления, получаемое с полигонов ТБО и отходы производства, а также прессом для формования изделий.

Как уже было отмечено выше, наименьшие значения наработок на отказ имеют подающие шнековые конвейеры. При анализе причин отказов было проведено сравнение технологических конвейеров, работающих в идентичных условиях.

Таблица 3.

	Шнековый конвейер №1 выгрузки полиэтиленовых отходов потребления из дробилки	Шнековый конвейер №2 выгрузки полиэтиленовых отходов потребления из дробилки	Шнековый конвейер №3 выгрузки из выгрузки из полиэтиленовых отходов производства из дробилки	Шнековый конвейер №4 выгрузки из выгрузки из полиэтиленовых отходов производства из дробилки
Среднее значение в период наблюдений, ч	52	40	20	32
Прогнозное значение, ч	99	65	27	14

Для перехода к технологическим характеристикам было использовано следующее соотношение:

$$H = \frac{3600wt}{L}, \quad (5)$$

где w – скорость конвейера, м/с; t – наработка на отказ, ч; L – длина шнека конвейера.

Фактически данный критерий показывает количество циклов работы конвейера.

Как следует из графиков на рисунке 4 коэффициент корреляции при выбранной корреляционной функции составляет 0,83, что вполне достаточно для анализа состояния оборудования.

Так же во всех случаях были выявлены зависимости значений наработки от количества последовательных ремонтов и если в первых трех случаях тренды были в целом возрастающие, то для конвейера №4 – убывающий. Это означает, каждый последующий ремонт снижает работоспособность данного конвейера.

Убывающие тренды (конвейер №4) свидетельствуют о неполном восстановлении работоспособности оборудования, что в свою очередь говорит о необходимости повышения качества ремонтных работ, а то и замене некоторых деталей. Но при этом стоит учесть, что для обозначенного оборудования тренды, несмотря на общий убывающий характер, выходят на квазистационарный уровень.

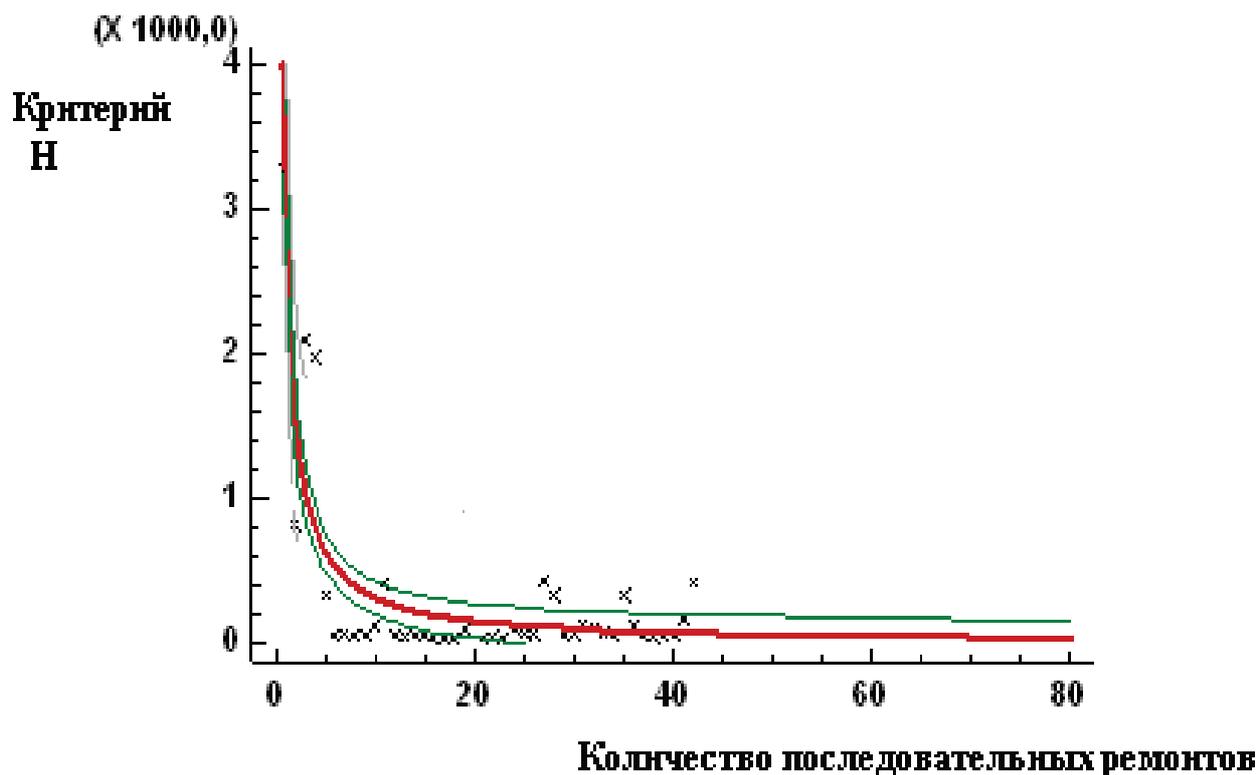


Рисунок 4. Тренд для шнекового конвейера №4: Наиболее эффективной для описания временного ряда наработок является модель вида $Y=a+b/X$, где $a - 0,0816$, $b-0,296$, X - количество последовательных отказов, Y – критерий Н

На основании проведенного исследования надежности оборудования КТП получены следующие результаты:

1. Разработан алгоритм проведения анализа надежностных характеристик работы оборудования для переработки ТБО, основанный на проверке наличия зависимости значения наработки на отказ от количества последовательных ремонтов. Как показала практика, такая зависимость может быть характерна для исследуемого оборудования (для ряда единиц оборудования коэффициент корреляции для данной зависимости превышает 0,6, что говорит о сильной связи между параметрами).

2. Исходя из того, что среднее время наработки на отказ перерабатывающего оборудования может существенно различаться даже для однотипных аппаратов, разработку плана ППР в таких случаях необходимо делать для каждой единицы оборудования индивидуально, а не на весь комплекс оборудования.

Литература

1. Николайкина Н.Е., Гонопольский А.А. Рециклинг слоистых алюминированных материалов //Экология и промышленность России, с.13-15, июль 2010 г.
2. Шубин В.С., Рюмин Ю.А. Надежность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств: учебное пособие. -М.: Колосс, 2004;
3. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем. Под редакцией В.П. Соколова. –М.: Логос, 2001;
4. Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Грун Г., Нойманн В. Обеспечение и методы оптимизации надежности химических и нефтеперерабатывающих производств. М.: Химия, 1987.