



Определение потребности в лакокрасочном материале и контроль его расхода при нанесении

Заказчик покупает покрытие определенной толщины, нанесенное на требуемую площадь в соответствии со спецификацией окраски, и в идеале ему не нужны излишки краски.

Однако практические работы никогда не бывают идеальными. С другой стороны, и отклонения от идеала не должны быть слишком большие ни по площади окрашивания, ни по качеству (по толщине) получаемого покрытия.

Таким образом, задача определения потребности в лакокрасочном материале (ЛКМ) сводится к расчету необходимого количества материала, достаточного для полного выполнения работ на заданном объекте в точном соответствии со спецификацией окраски. Иными словами, к *прогнозированию* для каждого ЛКМ, входящего в окрасочную схему, его *практического расхода*, обеспечивающего формирование покрытия с требуемой *толщиной сухой пленки (ТСП)* на поверхности окрашиваемого объекта (изделия).

Очевидно, что количество материала, заказываемое у фирмы-производителя, не должно быть меньше количества прогнозируемого для окраски.

$$\boxed{\begin{array}{c} \text{Количество ЛКМ} \\ \text{при заказе} \end{array}} \geq \boxed{\begin{array}{c} \text{Прогнозируемое количество ЛКМ,} \\ \text{необходимое для окрашивания} \\ \text{данного изделия} \\ \text{(прогнозируемый практический расход)} \end{array}}$$

Практически, как правило, это соотношение всегда выдерживается. Т.к. предприятия-производители ЛКМ в большинстве случаев отгружают материал целыми тарными местами или полностью укомплектованными паллетами (упаковками), совершенно справедливо мотивируя это большей сохранностью материала при транспортировке в полностью заполненной таре или упаковке. Также избыточное количество ЛКМ может образоваться при эксклюзивном или внеплановом заказе материала, когда фирма-производитель просто физически не может изготовить материал должного качества при загрузке сырья в технологическое оборудование меньше допустимых пределов.

Избыток ЛКМ при заказе выполняет у производителя окрасочных работ роль своего рода «страхового запаса» на случай непредвиденных обстоятельств (проливы ЛКМ при окраске, порча при хранении, превышение ТСП при нанесении и др.) Естественно, что величина «страхового запаса» ЛКМ должна быть разумна. А оценить его количество, можно только достоверно рассчитав прогнозируемый практический расход ЛКМ применительно к окрашиванию заданного объекта.



Практический расход ЛКМ – это количество материала с содержанием нелетучих веществ (или вязкостью) в состоянии поставки, необходимое (или фактически затраченное) для получения на окрашиваемом изделии покрытия с заданной толщиной. В этом количестве не учитываются потери связанные с браком, наладкой и ремонтом оборудования, с отступлением от утвержденного технологического процесса окрашивания.

Практический расход выражают в единицах массы (в кг или тн.) или объема (в литрах).

Когда расход определяют по количеству материала фактически израсходованного при окрасочных работах, получают величину *фактического практического расхода ЛКМ*; когда необходимо определить потребность в ЛКМ при планировании окрасочных работ – результатом расчета является величина *прогнозируемого практического расхода*.

Структурно практический расход, представляет собой сумму количества материала, расходуемого исключительно на формирование покрытия требуемой толщины (*теоретический расход ЛКМ*) и его *дополнительного* количества, компенсирующего безвозвратные потери материала при нанесении на изделие. Очевидно, что увеличение безвозвратных потерь ЛКМ при нанесении приводит к *увеличению* практического расхода.

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Прогнозируемый} \\ \text{практический} \\ \text{расход} \\ \text{ЛКМ для} \\ \text{окрашивания} \\ \text{изделия} \\ \text{(кг)} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Количество ЛКМ,} \\ \text{расходуемое на} \\ \text{формирование} \\ \text{покрытия с заданной ТСП} \\ \text{на единицу площади} \\ \text{(теоретический расход)} \\ \text{(кг/м}^2\text{)} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{Площадь} \\ \text{окрашиваемого} \\ \text{изделия} \\ \text{(м}^2\text{)} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Количество ЛКМ,} \\ \text{компенсирующее} \\ \text{безвозвратные потери} \\ \text{ЛКМ при его нанесении} \\ \text{на изделие} \\ \text{(потери при нанесении)} \\ \text{(кг)} \\ \hline \end{array}$$

При этом, следует обязательно иметь в виду, что числовое значение расхода ЛКМ справедливо только для заданных числовых значений площади окрашиваемой поверхности и толщины сухой пленки (ТСП) получаемого покрытия.

Когда стоит задача определения площади поверхности, которую *можно* окрасить заданным количеством материала (в единицах объема или массы) – говорят о **практической кроющей способности ЛКМ**. Фактически - это обратная величина практического расхода. Соответственно, и ее структура аналогична за исключением того, что безвозвратные потери ЛКМ при нанесении приводят к *уменьшению* величины кроющей способности, т.е. прогнозируемой площади окрашивания.

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Реальная} \\ \text{площадь} \\ \text{окрашивания} \\ \text{(практическая} \\ \text{кроющая} \\ \text{способность)} \\ \text{(м}^2\text{)} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Площадь распределения} \\ \text{1л. ЛКМ для получения} \\ \text{покрытия с заданной ТСП} \\ \text{(теоретическая кроющая} \\ \text{способность)} \\ \text{(м}^2\text{/л)} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{Количество} \\ \text{ЛКМ} \\ \text{(л)} \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline \text{«Потерянная» площадь} \\ \text{окрашивания} \\ \text{из-за безвозвратных} \\ \text{потерь ЛКМ при} \\ \text{нанесении} \\ \text{(м}^2\text{)} \\ \hline \end{array}$$

Кроющую способность ЛКМ выражают в единицах площади (обычно в м²), числовое значение которой справедливо только для заданных значений ТСП и количества ЛКМ.



Определение кроющей способности зачастую оказывается очень полезно для проведения сравнительной оценки различных схем окраски по их экономичности. При этом, для корректного сравнения экономичности ЛКМ с разным удельным весом (плотностью) следует рассчитывать кроющую способность единицы объема ЛКМ (литра), а не массы.

Для системы покрытий (даже когда спецификация окраски предписывает последовательное нанесение нескольких слоев одного и того же материала), прогнозируемый практический расход для каждого ЛКМ, входящего в систему, всегда должен определяться отдельно для каждого окрасочного слоя ($ПР_L$). А полный (суммарный) прогнозируемый расход ЛКМ ($ПР$) рассчитывается как сумма расходов затрачиваемых для получения каждого отдельного слоя.

$$ПР = \sum_{L=1}^N ПР_L \quad (1)$$

или

$$ПР = \sum_{L=1}^N \left(\frac{ТР_L \times S}{1000} + \Delta Q_L \right) \quad (2)$$

где, $ПР$ – суммарный практический расход ЛКМ, (кг)

$ПР_L$ – практический расход ЛКМ на нанесение одного слоя номинальной толщины, (кг)

N – количество слоев ЛКМ в схеме окраски

$ТР_L$ – теоретический расход ЛКМ на один слой номинальной толщины, (г/м²)

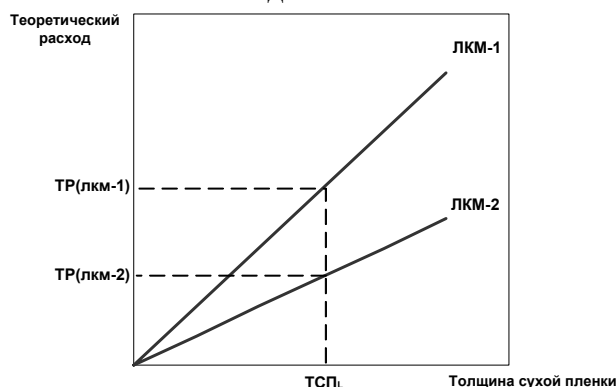
ΔQ_L – потери ЛКМ при нанесении одного слоя номинальной толщины, (кг)

S – площадь окрашиваемой поверхности (м²)

Теоретический расход ЛКМ (ТР) – это количество материала, расходуемое исключительно на формирование покрытия с заданной толщиной на идеально гладкой поверхности, т.е. без учета потерь материала при его нанесении, потерь на заполнение неровностей окрашиваемой поверхности (т.н. «мертвого объема») и его впитывания в окрашиваемую поверхность.

Теоретический расход выражают в единицах массы (или объема) на единицу окрашиваемой площади (м² или 100м²), т.е. в г/м² или л/100м². Иногда при расчетах пользуются обратной величиной - **теоретической кроющей способностью**, выражаемой в м²/кг или м²/л.

Величину теоретического расхода ЛКМ, необходимого для достижения слоя с заданной номинальной толщиной ($ТР_L$), определяют свойства самого материала, (т.е. его производственная рецептура) и номинальная ТСП данного ЛКМ в системе покрытий ($ТСП_L$).





Предприятие-изготовитель в листах технической информации на ЛКМ указывает значения его теоретического расхода (или теоретической кроющей способности) с привязкой к рекомендуемым величинам ТСП на один слой. Пользуясь приведенными парами значений можно при необходимости легко пересчитать теоретический расход ЛКМ для любой величины ТСП и наоборот.

Помимо этого, для расчета может быть использовано значение доли нелетучих веществ ЛКМ, выраженное *в объемных процентах*. Таким способом теоретический расход (или кроющую способность) можно определить *в единицах объема* (в литрах).

$$TKp = \frac{CO_{об}^{\%} \times 10}{TСП_L} \quad (3)$$

где, TKp – теоретическая кроющая способность ЛКМ (m^2/l)

$CO_{об}^{\%}$ – объемная доля нелетучих веществ в ЛКМ (% об.)

$TСП_L$ – номинальная толщина сухой пленки слоя получаемого покрытия (мкм)

Площадь поверхности окрашиваемого изделия (S) производитель окрасочных работ может определять по данным производственно-конструкторской документации или рассчитывать самостоятельно в соответствии с техническим заданием заказчика на окраску.

В случаях расчета площади поверхности конструкции сложной формы, ее стараются разделить на более простые, желательно типовые элементы, площадь которых заранее известна или легко рассчитывается.

Тогда полную площадь поверхности конструкции определяют как сумму площадей ее составных элементов.

$$S = \sum_{i=1}^N S_i \quad (4)$$

где, S – площадь поверхности конструкции (m^2)

S_i – площадь поверхности элемента конструкции (m^2)

Однако это справедливо только при условии, что *все элементы конструкции относятся к одной*

группе сложности. В противном случае, практический расход следует рассчитывать *отдельно* для каждого элемента, а общий расход ЛКМ на всю конструкцию целиком определять как сумму расходов ЛКМ приходящихся на окраску ее отдельных частей (элементов).

Безвозвратные потери ЛКМ при нанесении (ΔQ) определяются многими причинами: габаритами, конструкционными особенностями (сложностью) окрашиваемого изделия и природой его поверхности, принятым способом нанесения ЛКМ, конструкцией окрасочного оборудования, доступностью места окрашивания, погодными условиями, квалификацией маляра и другими факторами.

Нормативы потерь при нанесении могут регламентироваться отраслевыми и конструкторскими нормами применительно к окрашиванию типовых изделий, могут рассчитываться самим производителем окрасочных работ на основании статистики замеров фактических



расходов ЛКМ при ранее проведенных окрасочных работах или определяться по результатам опытной окраски образцом ЛКМ предоставленным поставщиком.

Фирмы, проводящие постоянную работу по совершенствованию организации и технологии окрасочных работ, располагающие технически совершенным окрасочным оборудованием и квалифицированными кадрами для его настройки и эксплуатации способны свести потери ЛКМ при нанесении к минимуму. Достижение минимальных потерь при сохранении стабильно высокого качества и скорости окрашивания они справедливо относят к своим преимуществам перед конкурентами.

Наиболее точно потери ЛКМ можно определить по результатам опытной окраски, которую проводят при освоении новой технологии или техники нанесения ЛКМ, при окрашивании изделий принципиально новых конструкций или изготовленных из новых по своей природе материалов и в целом ряде других случаев.

По данным опытной окраски, когда известен фактический расход материала на слой ($PP_{L \text{ факт}}$) и фактическое значение ТСП, потери ЛКМ при нанесении каждого слоя могут быть определены как в абсолютных величинах (ΔQ_L), в единицах массы или объема, так и относительных единицах, т.е. как *процент потерь* от теоретических (без учета потерь) затрат материала ($\Delta q_L^{\%}$).

$$\Delta Q_L = PP_{L \text{ факт}} - \frac{(TP_L \times S)}{1000} \quad (5)$$

$$\Delta q_L^{\%} = \frac{PP_{\text{факт}} - \left(\frac{TP_L \times S}{1000} \right)}{\left(\frac{TP_L \times S}{1000} \right)} \times 100\% \quad (6)$$

где, ΔQ_L – потери ЛКМ при нанесении одного слоя номинальной толщины, (кг)

$\Delta q_L^{\%}$ - процент потерь ЛКМ на один слой номинальной толщины, (%) .

$PP_{L \text{ факт}}$ – фактический практический расход ЛКМ на один слой по результатам опытной окраски, (кг)

TP_L - теоретический расход ЛКМ на один слой номинальной толщины, (г/м²)

S – площадь окрашиваемой поверхности, (м²)

Также вполне достоверными можно считать величины безвозвратных потерь ЛКМ получаемые из анализа отчетных документов по ранее проводимым окрасочным работам. Действительно, любая фирма, профессионально проводящая окрасочные работы, для определения фактической стоимости работ ведет ежедневный учет фактического расхода ЛКМ при окраске, и площади окрашенной поверхности; в протоколах хода окрасочных работ фиксирует условия и особенности технологического процесса окраски на каждом окрашиваемом объекте, а также получаемую фактически ТСП покрытия. При наборе достаточного объема статистических данных, этих сведений оказывается вполне достаточно для расчета потерь ЛКМ при нанесении.



Полученные значения потерь могут быть либо в неизменном виде применены к окрасочным работам на других аналогичных по конструкции объектах, либо использованы в качестве *прогнозируемых безвозвратных потерь* при расчете *прогнозируемого практического расхода ЛКМ* применительно к новым, отличным по своим характеристикам, конструкциям.

Очевидно, что безвозвратные потери ЛКМ при нанесении приводят к потере фактически достигаемой ТСП получаемого покрытия на величину $\Delta\text{ТСП}$, и чтобы фактически достигнуть ТСП равной требуемой номинальной величине (ТСП_L) нужно наносить покрытие толщиной ($\text{ТСП}_{L+\Delta}$) т.е. с учетом потерь:

$$\text{ТСП}_{L+\Delta} = \text{ТСП}_L + \Delta\text{ТСП} \quad (7)$$

Соответственно, при расчете безвозвратные потери могут быть определены и как потери теоретического расхода на величину $\Delta\text{ТР}$ в г/м^2 .

Тогда количество теряемого при окрасочных работах ЛКМ (ΔQ) будет:

$$\Delta Q = \frac{\Delta\text{ТР} \times S}{1000} \quad (8)$$

а формула (2) расчета прогнозируемого практического расхода ЛКМ приходящегося на один слой (ПР_L) примет вид:

$$\text{ПР}_L = \frac{\text{ТР}_L \times S}{1000} + \frac{\Delta\text{ТР} \times S}{1000} \quad (9)$$

$$\text{ТР}_{L+\Delta} = \text{ТР}_L + \Delta\text{ТР} \quad (10)$$

$$\text{ПР}_L = \frac{\text{ТР}_{L+\Delta} \times S}{1000} \quad (11)$$

где ТР_L - теоретический расход ЛКМ на один слой номинальной толщины, (г/м^2)

$\text{ТР}_{L+\Delta}$ – значение теоретического расхода ЛКМ определенное с учетом потери ТСП, (г/м^2).

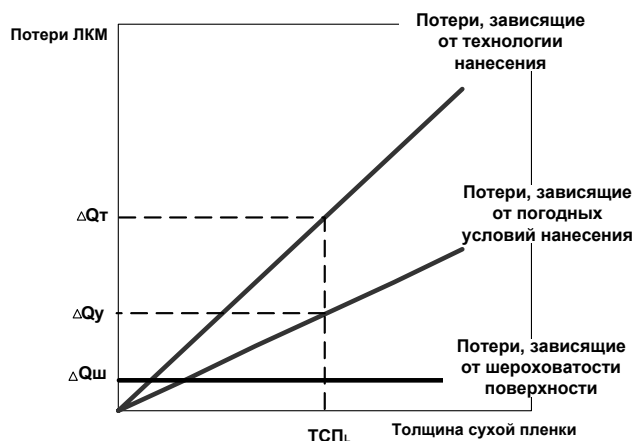
Очевидно, что для достоверного расчета величины прогнозируемых безвозвратных потерь ЛКМ их следует определять не только отдельно для каждого слоя ЛКМ, но и с учетом каждого значимого фактора (причины) потерь.

Из всего множества возможных факторов потерь ЛКМ при окрасочных работах в большинстве практических случаев к наиболее значимым относят потери вызванные:

- особенностями конструкции (сложностью) объекта или трудностью доступа к поверхности окрашивания,
- применяемой технологией нанесения ЛКМ,
- условиями окружающей среды (погодными условиями) при нанесении ЛКМ,
- подготовкой ЛКМ перед нанесением
- шероховатостью окрашиваемой поверхности.



Все факторы (причины) потерь ЛКМ при нанесении подразделяются на *переменные*, когда абсолютная величина теряемого ЛКМ оказывается прямо пропорциональной величине ТСП получаемого покрытия, и *постоянные*, когда величина потерь ЛКМ от ТСП не зависит, а определяется только физической природой причины вызывающей потери.



К *переменным* (зависимым от величины ТСП) относится большинство потерь, встречаемых на практике.

Действительно, чем толще покрытие требуется нанести и, следовательно, больше ЛКМ необходимо положить на поверхность изделия, тем выше будут и потери связанные с его доставкой до поверхности.

Таким образом, для любых значений ТСП, для каждого отдельно взятого *переменного* фактора (i) потери, выражаемые как в абсолютных величинах (ΔQ_i), так и в виде потерь в ТСП (ΔTSP_i) или теоретическом расходе (ΔTP_i) могут быть определены через один и тот же для данного фактора (i) коэффициент пропорциональности или *процент потерь от данного фактора*¹ ($\Delta q_i\%$).

Тогда, для переменного фактора (i) потери в теоретическом расходе будут:

$$\Delta TP_i = \frac{\Delta q_i\%}{100} \times TP_L \quad (12)$$

а формула (9) расчета прогнозируемого практического расхода на один слой от фактора (i) примет вид:

$$(PP_L)_i = \frac{TP_L \times S}{1000} + \frac{\frac{\Delta q_i\%}{100} \times TP_L \times S}{1000} \quad (13)$$

$$КП_i = 1 + \frac{\Delta q_i\%}{100} \quad (14)$$

$$(PP_L)_i = \frac{TP_L \times S}{1000} \times КП_i \quad (15)$$

где $КП_i$ – безразмерный коэффициент потерь (увеличения расхода) от переменного фактора потерь (i).

¹ Практически процент потерь от каждого фактора может быть определен по результатам опытной окраски при условиях, когда только этот фактор потерь является значимым или когда доля в суммарных потерях прочих факторов точно известна

Очевидно, что значения коэффициентов потерь (увеличения расхода) могут быть больше или равными единице. Хотя в ряде случаев пользуются их обратными величинами – *коэффициентами использования материала (КИ_i)*, величины которых соответственно меньше или равны единице:

$$КП_i = \frac{1}{КИ_i} \quad (16)$$

К *постоянным* (не зависящим от величины ТСП) относятся потери связанные, как правило, с заполнением т.н. «*мертвых объемов*».

Самым типичным примером постоянных потерь являются потери вызванные шероховатостью окрашиваемой поверхности².

Подавляющее большинство окрасочных схем предписывает полное перекрывание грунтовкой образующихся при абразивоструйной подготовке поверхности пиков шероховатости. При этом, предписываемая (номинальная) ТСП грунтовки должна отсчитываться от вершин пиков поверхности³.



Тогда, потери на «*мертвый объем*» (или *потери от шероховатости*) представляют собой количество ЛКМ, необходимое для заполнения пространства между пиками шероховатой поверхности. Иными словами - это дополнительное количество материала, которое необходимо затратить, прежде чем будет создан собственно защитный слой ЛКМ, расположенный над вершинами пиков поверхности.

Очевидно, что прогнозируемые потери от шероховатости⁴ не зависят от номинальной величины ТСП в окрасочной схеме, а определяются исключительно величиной «мертвого объема» ($V_{ш}$), или степенью шероховатости поверхности,⁵ характеризующейся в свою очередь значениями R_{y5} или R_z .

² В отдельных случаях допускается производить расчеты потерь от шероховатости по методикам, применяемым для расчета переменных потерь, т.е. с использованием коэффициентов увеличения расхода. Однако, это допустимо только для схем с близкой величиной ТСП грунтовочного слоя.

³ Исключением являются некоторые типы грунтовок, например межоперационные грунтовки горячей сушки которые наносят в заводских условиях относительно тонким слоем. В результате чего грунтовочный слой из этих ЛКМ фактически дублирует профиль шероховатости окрашиваемой поверхности.

⁴ Потери от шероховатости не следует путать с потерями ЛКМ на впитывание, которые имеют место при окрашивании изделий из пористых материалов (бетона, кирпича, дерева, бумаги и др.), т.к. достоверно определить величину потерь ЛКМ при окраске подобных изделий можно только по результатам опытной окраски.

⁵ Подробнее об оценке степени шероховатости см. ISO 468, ISO 8503 и ГОСТ 2789



Величина «мертвого объема» ($V_{\text{ш}}$) линейно возрастает с увеличением степени шероховатости поверхности по следующей эмпирической зависимости:

$$V_{\text{ш}} \approx 0,67 R_{y5} \quad (17)$$

Тогда, потери ЛКМ от шероховатости ($\Delta Q_{\text{ш}}^V$) выраженные в единицах объема (в литрах) могут быть найдены из величины «мертвого объема» как:

$$\Delta Q_{\text{ш}}^V = \frac{V_{\text{ш}} \times S}{CO_{\text{об}}^{\%} \times 10} \quad (18)$$

где, $V_{\text{ш}}$ – «мертвый объем», ($\text{см}^3/\text{см}^2$)

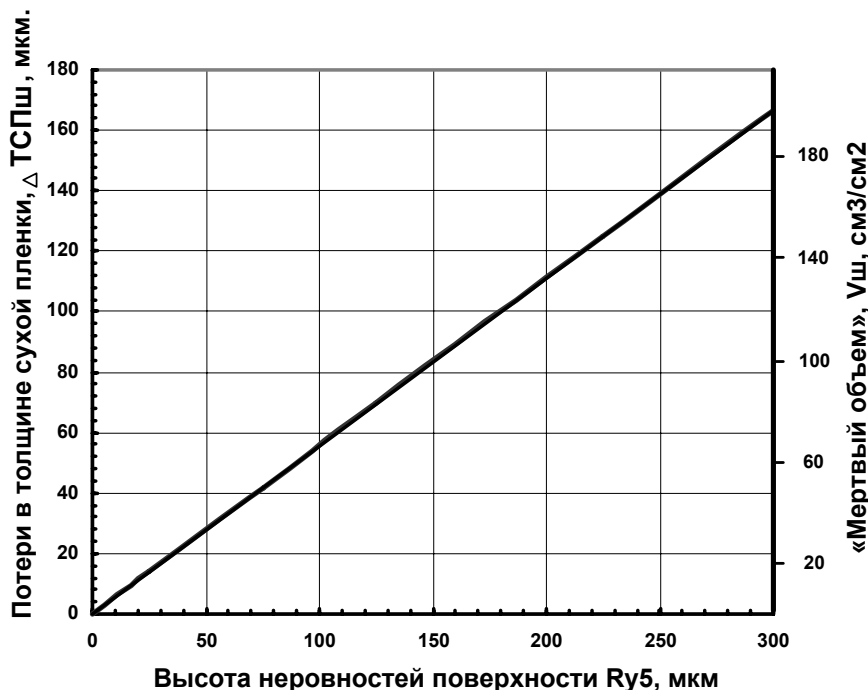
$CO_{\text{об}}^{\%}$ – объемная доля нелетучих веществ в ЛКМ, (% об.)

S – площадь окрашиваемой поверхности, (м^2)

Однако, практически удобнее выражать прогнозируемые потери от шероховатости через потерю ТСП получаемого покрытия как величину $\Delta TСП_{\text{ш}}$ пользуясь эмпирической зависимостью:

$$\Delta TСП_{\text{ш}} \approx 0,56 R_{y5} \quad (19)$$

или графиком



а для расчета прогнозируемого практического расхода использовать формулы (7) - (11) .



Крайне редко на практике на процесс нанесения ЛКМ оказывает влияние только один фактор потерь. В большинстве случаев на процесс нанесения оказывают влияние несколько значимых факторов. При этом следует учитывать, что любой процесс окраски всегда состоит из цепочки *последовательных* микроопераций. А результаты (и потери ЛКМ) от каждой микрооперации базируются на результатах предыдущей.

Тогда формула расчета прогнозируемого расхода ЛКМ, приходящегося на один слой (ПР_L) в случае многофакторных (с учетом как постоянных, так и переменных) потерь будет⁶:

$$\text{ПР}_L = \frac{\text{ТР}_{L+\sum\Delta} \times S}{1000} \prod_{i=1}^Z (\text{КП}_i) \quad (20)$$

где ТР_{L+∑Δ} – значение теоретического расхода ЛКМ определенное с учетом *суммарной* потери ТСП от всех значимых *постоянных* потерь, (г/м²),

КП_i – безразмерный коэффициент потерь (увеличения расхода) от *переменного* фактора потерь (i),

Z – количество значимых *переменных* факторов потерь при данном процессе окрашивания,

S – площадь окрашиваемой поверхности, (м²)

Очевидно, что в случаях, когда из постоянных факторов потерь значимыми являются только потери от шероховатости, то ТР_{L+∑Δ} = ТР_{L+Δш}. А когда факторы постоянных потерь вообще отсутствуют (например, при нанесении промежуточных и финишных слоев схемы или при окрашивании гладких поверхностей), то ТР_{L+∑Δ} = ТР_L.

Таким образом, алгоритм расчета прогнозируемого практического расхода сводится к следующему:

1. Исходной информацией для расчета является спецификация окрасочных работ, проектная документация, план-график проведения окрасочных работ, предоставляемые изготовителем технические характеристики на ЛКМ. В этих документах для данного объекта окрашивания находят:
 - сведения об объекте (исходное состояние поверхности, необходимую степень ее подготовки перед окрашиванием), характеристику сложности конструкции, площадь поверхности и ее доступность для окрашивания;
 - сведения о применяемых методах (технологии) окрашивания;
 - сведения об условиях проведения окрасочных работ (окрашивание в заводских или полевых условиях, проведение окрасочных работ в замкнутых помещениях или на открытом воздухе, с уровня земли или на высоте и др.);
 - предписываемые для каждого слоя значения номинальных ТСП;
 - теоретические расходы применяемых ЛКМ
2. На основании прогнозируемых условий проведения окрасочных работ для каждого слоя окрасочной схемы анализируются значимость всех возможных факторов потерь ЛКМ,

⁶ Также для расчета прогнозируемого расхода ЛКМ при многофакторных потерях могут быть применены формулы (10) и (11). При этом приведенное с учетом всех потерь значение теоретического расхода (ТР_{L+Δ}) находят для ТСП, рассчитываемое для всех значимых переменных факторов как сложный процент, к которым прибавляются потери в ТСП от всех значимых постоянных факторов потерь



определяются значения их коэффициентов потерь (КП) или потерь в толщине сухой пленки ($\Delta TСП$). Как уже указывалось выше, в большинстве практических случаев значимыми являются потери вызванные:

- особенностями конструкции (сложностью) объекта или трудностью доступа к поверхности окрашивания, ($КП_о$)
- применяемой технологией нанесения ЛКМ, ($КП_т$)
- условиями окружающей среды (погодными условиями) при нанесении ЛКМ, ($КП_у$)
- подготовкой ЛКМ перед нанесением ($КП_п$)
- шероховатостью окрашиваемой поверхности. ($\Delta TСП_ш$).

(Рекомендуемые значения коэффициентов потерь и потерь в ТСП от шероховатости поверхности приведены в приложении настоящей статьи)

3. В соответствии окрасочной схемой для номинальной толщины каждого слоя в мкм. (L) рассчитывают теоретический расход ЛКМ в $г/м^2$ (TR_L), а для грунтовочного слоя, при необходимости - теоретический расход ЛКМ с учетом потерь на шероховатость в $г/м^2$ ($TR_{L+\Delta ш}$)
4. Для каждого слоя окрасочной схемы прогнозируемый практический расход ЛКМ в кг. ($ПР_L$) рассчитывают по формулам:
 - для грунтовочного слоя схемы (в случаях шероховатых поверхностей или поверхностей подвергаемых механической очистке)⁷:

$$ПР_L = \frac{TR_{L+\Delta ш} \times S}{1000} \times КП_о \times КП_т \times КП_у \times КП_п \quad (21)$$

- для промежуточных слоев или финишного покрытия схемы:

$$ПР_L = \frac{TR_L \times S}{1000} \times КП_о \times КП_т \times КП_у \times КП_п \quad (22)$$

где, $TR_{L+\Delta ш}$ – значение теоретического расхода ЛКМ определенное с учетом потери ТСП от шероховатости $\Delta TСП_ш$, ($г/м^2$),

TR_L - теоретический расход ЛКМ на один слой номинальной толщины, ($г/м^2$)

$КП_о, КП_т, КП_у, КП_п$, – безразмерные коэффициенты потерь (увеличения расхода) от переменных факторов потерь: сложности объекта, технологии нанесения, условий нанесения и подготовки ЛКМ пред нанесением

S – площадь окрашиваемой поверхности окрашиваемого объекта, ($м^2$)

5. В зависимости от окрасочной схемы полный (суммарный) прогнозируемый практический расход по каждому ЛКМ определяют как сумму практических расходов на каждый слой.

⁷ Для гладких окрашиваемых поверхностей для расчета прогнозируемого практического расхода всех слоев (а том числе и грунтовочного) используют формулу (22)



Правильно определенная потребность в ЛКМ (прогнозируемый практический расход) обеспечивает возможности получения на всей требуемой площади изделия покрытия с заданной толщиной. Однако, это не гарантирует стабильность ТСП по всей площади окрашивания. На одних участках полученное покрытие может оказаться слишком толстым, тогда как на других – слишком тонким.

Отрицательные последствия «разнотолщинности» покрытия очевидны: Слишком большая толщина, помимо неоправданного перерасхода ЛКМ, может быть причиной образования подтеков, снижения механической прочности и химстойкости покрытия из-за плохого испарения из него растворителя. Слишком маленькая – не обеспечивает требуемых защитных и/или, когда фактическая толщина покрытия оказывается меньше предельной толщины укрывистости ЛКМ, декоративных свойств. Неизбежное нанесение дополнительного (не предусмотренного спецификацией) слоя для исправления участков покрытия с толщиной существенно ниже требуемой также приводит к непредвиденному перерасходу ЛКМ.

Объективную оценку соответствия полученного покрытия требованиям спецификации дает только измерение толщины *уже сформированного* (высохшего) покрытия, т.е. величины ТСП.

В большинстве случаев, если иное не предусмотрено спецификацией на окраску, руководствуются правилом: *Фактическая величина ТСП во всех случаях не должна быть меньше 80% от номинальной; при этом, величина ТСП может быть меньше номинальной не более, чем на 20% площади всей окрашиваемой поверхности (т.н. правило «80-20»).*

В ряде случаев, спецификацией могут быть предписаны иные нормативы контроля (например, аналогичные правила «80-5», «90-10» или другие).

Как уже отмечалось выше, за исправление как слишком тонкого, так и слишком толстого полученного покрытия приходится «расплачиваться» или дополнительным расходом ЛКМ или дополнительными трудозатратами на удаление «лишней» толщины покрытия. Поэтому очень важно осуществлять периодический контроль толщины покрытия (иными словами - контроль расхода ЛКМ попадающего на подложку) *непосредственно сразу* после его нанесения. Такой контроль производят, измеряя *толщину мокрой пленки (ТМП)* нанесенного, но еще несформированного (невысохшего) покрытия.

Для каждого входящего в схему ЛКМ, величину ТМП в мкм. в зависимости от заданного значения ТСП определяют по формуле:

$$ТМП = \frac{ТСП \times 100}{СО_{об}^{Р\%}} \quad (23)$$

где, ТМП – толщина мокрой пленки покрытия, (мкм)

ТСП - толщина сухой пленки покрытия, (мкм)

$СО_{об}^{Р\%}$ – объемная доля нелетучих веществ в ЛКМ при рабочей вязкости (% об.)



Всегда важно помнить, что доля нелетучих веществ в ЛКМ *уменьшается* при его разбавлении. Поэтому в случаях разбавления ЛКМ перед нанесением (доведения ЛКМ до рабочей вязкости), для расчета значения ТМП величину $CO_{об}^{\%}$ берут не из листа технической информации (для материала в состоянии поставки), а пересчитывают:

$$CO_{об}^{P\%} = \frac{CO_{об}^{\%} \times 100}{D_{об}^{v\%} + 100} \quad (24)$$

$$D_{об}^{v\%} = \frac{Q_{растворитель} \times 100}{Q_{ЛКМ}} \quad (25)$$

где, $CO_{об}^{P\%}$ – объемная доля нелетучих веществ в ЛКМ при рабочей вязкости (% об.)

$CO_{об}^{\%}$ – объемная доля нелетучих веществ в ЛКМ при исходной вязкости (% об.)

$D_{об}^{v\%}$ – степень разбавления ЛКМ (процент добавленного растворителя) (% об.)

$Q_{ЛКМ}$ – количество ЛКМ с исходной вязкостью (л)

$Q_{растворитель}$ – количество растворителя добавленного в ЛКМ для его доведения до рабочей вязкости, (л)

Практически, ТМП измеряют с помощью т.н. *толщиномеров мокрой пленки*: «гребенки Россмана» или «катящегося колеса» (ISO 2808).

В принципе, «гребенки» позволяют проводить измерение величин ТМП, начиная с 25 мкм, а «катящееся колесо» - с 15 мкм. Однако в большинстве практических случаев измерение ТМП проводят при толщинах «мокрого слоя» материала начиная с 40-50 мкм и выше.

Приложение: см. на следующей странице.



Формулы для расчета

Прогнозируемый практический расход ЛКМ (кг)

<p>общая формула:</p>	$ПР = \sum_{L=1}^N ПР_L$ $ПР_L = \frac{ТР_{L+\sum\Delta} \times S}{1000} \prod_{i=1}^Z (КП_i)$ <p>где: ПР – суммарный практический расход ЛКМ, (кг) ПР_L – практический расход ЛКМ на нанесение одного слоя номинальной толщины, (кг) ТР_{L+∑Δ} – значение теоретического расхода ЛКМ определенное с учетом суммарной потери ТСП от всех значимых постоянных потерь, (г/м²), КП_i – безразмерный коэффициент потерь (увеличения расхода) от переменного фактора потерь (i), Z – количество значимых переменных факторов потерь при данном процессе окрашивания, S – площадь окрашиваемой поверхности, (м²)</p>
<p>упрощенные формулы: (применяются в большинстве случаев для расчета количества ЛКМ при заказе)</p>	<p><u>для грунтовочного слоя схемы</u> (в случаях шероховатых поверхностей или поверхностей подвергаемых механической очистке):</p> $ПР_L = \frac{ТР_{L+\Delta Ш} \times S}{1000} \times КП_o \times КП_T \times КП_y \times КП_п$ <p><u>для промежуточных слоев или финишного покрытия схемы:</u></p> $ПР_L = \frac{ТР_L \times S}{1000} \times КП_o \times КП_T \times КП_y \times КП_п$ <p>где: ТР_L – теоретический расход ЛКМ на один слой номинальной толщины, (г/м²) ТР_{L+ΔШ} – значение теоретического расхода ЛКМ с учетом потерь от шероховатости, (г/м²) т.е. теоретический расход ЛКМ для ТСП = ТСП_L + ΔТСП_ш (см. таблицу 7 приложения) КП_o, КП_T, КП_y, КП_п – коэффициенты потерь (см. таблицы 3-6 приложения)</p>

Толщина мокрой пленки (мкм)

$$ТМП = \frac{ТСП \times 100}{СО_{об}^{P\%}}$$

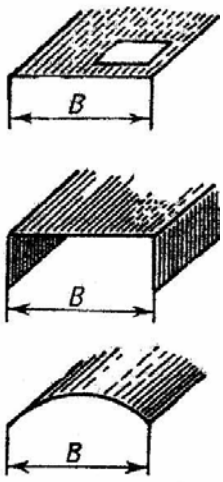
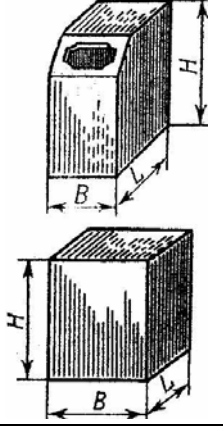
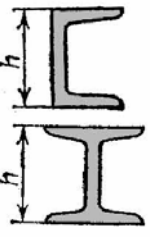
$$СО_{об}^{P\%} = \frac{СО_{об}^{\%} \times 100}{D_{об}^{v\%} + 100}$$

$$D_{об}^{v\%} = \frac{Q_{растворитель} \times 100}{Q_{ЛКМ}}$$

- где, ТМП – толщина мокрой пленки покрытия, (мкм)
 ТСП – толщина сухой пленки покрытия, (мкм)
 СО_{об}^{P%} – объемная доля нелетучих веществ в ЛКМ при рабочей вязкости, (% об.)
 СО_{об}[%] – объемная доля нелетучих веществ в ЛКМ при исходной вязкости, (% об.)
 D_{об}^{v%} – степень разбавления ЛКМ (процент добавленного растворителя), (% об.)
 Q_{ЛКМ} – количество ЛКМ с исходной вязкостью, (л)
 Q_{растворитель} – количество растворителя добавленного в ЛКМ для его доведения до рабочей вязкости, (л)

Классификация строительных и машиностроительных конструкций по группам сложности окрашиваемых поверхностей¹

Таблица 1

Поверхность	Геометрическая форма окрашиваемой поверхности	Эскиз	Основной определяющий параметр	Группа сложности		
				I	II	III
Плоскостная	Листовая, прямолинейного или криволинейного контура, плавно выпуклой или вогнутой формы с отверстиями или небольшими отбартовками (окрашиваемая индивидуально)		Ширина, мм Доля поверхности, занятая отверстиями, %	≥ 300 <20	150-300 <20	<150 —
Коробчатая	Объемная, с прямолинейными или криволинейными поверхностями, изготовленная из листов, штампованная или литая и т.д.		Длина, высота, ширина, мм Доля поверхности, занятая отверстиями, %	Свыше 300x300x300 <20	Свыше 300x300x300 До 300x300x300 <20	Меньше 300x300x300 —
Профильная	Фасонный прокат типа уголков, швеллеров, двутавровых балок и др. окрашиваемых индивидуально		Высота профиля, мм	>300	150-300	<150

¹ Цитируется по изданию «Лакокрасочные покрытия. Технология и оборудование», (под редакцией А.М. Елисаветского), М., «Химия» 1992г.



Классификация строительных и машиностроительных конструкций по группам сложности окрашиваемых поверхностей (продолжение)

Продолжение таблицы 1

Поверхность	Геометрическая форма окрашиваемой поверхности	Эскиз	Основной определяющий параметр	Группа сложности		
				I	II	III
Цилиндрическая, коническая, сферическая	Объемная, с цилиндрической, сферической или конической поверхностью		Средний диаметр, мм. Доля поверхности, занятая отверстиями, %	≥ 300 <20	150-300 <20	<150 —
Фигурная	Поверхность, образуемая сопряженными в различных плоскостях телами вращения		Сложность конструкции, высота выступающих элементов, мм	—	≤ 150	>150

Примечание:

1. При окраске групповым методом принимается рядом стоящая менее сложная группа.
2. Для деталей плоскостных, цилиндрических, конических, сферических, коробчатых и др. с площадью отверстий, превышающей указанную в таблице, принимается рядом стоящая более сложная группа. Если деталь имеет площадь отверстий более 40%, ее относят к третьей группе сложности.
3. Для деталей, имеющих выступающие элементы высотой свыше 25 мм, равномерно распределенные по окрашиваемой поверхности на расстоянии до 100 мм друг от друга, принимается рядом стоящая более сложная группа.
4. Для деталей коробчатой формы изменение одного из габаритов на группу сложности не влияет. Если габаритные параметры имеют числовые значения, относящиеся каждый из них к групповым признакам всех групп сложности (например, коробка с габаритами 500x250x100мм), принимается средняя, т.е. группа сложности II.
5. Для пневматического распыления приняты группы сложности I, II, III, для распыления – только группы сложности I и II.

Классификация судовых конструкций по группам сложности окрашиваемых поверхностей¹

Таблица 2.

Группы сложности	Характеристики окрашиваемых элементов корпуса	Примеры
I	Металлические листы и профильный прокат. Плоскостные сварные и клепаные конструкции, обводы корпуса снаружи. <i>Доступ к поверхности свободен, поверхности имеют непрерывную площадь окрашивания более 0,5м².</i>	Детали плоскосные судокорпусных конструкций, листы наружной обшивки, переборки, палубы, надводная часть и подводный борт, надстройки и рубки снаружи, внутренние гладкие зашивки, внутренние выгородки, не насыщенные оборудованием
II	Сварные и клепаные конструкции криволинейной формы, изогнутые по радиусам и под углом, детали с большим количеством вырезов, решетчатые конструкциями, узлы в сочетании с плоскими поверхностями или узкими планками. <i>Доступ к окрашиваемой поверхности затруднен</i>	Форпик и ахтерпик со стороны набора, трюмы со стороны набора, гофрированные переборки с шельфами, помещения, насыщенные оборудованием, трубопроводы, краны и стрелы, стандарты СПУ, якорные цепи, якоря и кнехты
III	Конструкции сложной конфигурации с большим количеством набора с выпуклой или вогнутой поверхностью, узлы, имеющие цилиндрические или конические поверхности, с большим количеством ребер, вырезов, отверстий. <i>Доступ к окрашиваемой поверхности крайне затруднен</i>	Район второго дна, междубортные пространства коффердамы, мачты, внутренние поверхности валов, цепные ящики, различного рода цистерны, трубопроводы сложной конфигурации

Коэффициент, учитывающий группу сложности окрашиваемого изделия⁹ (КП₀)

Таблица 3

№ п/п	Метод окрашивания	Группа сложности		
		I	II	III
1.	Пневматическое распыление	1,00	1,23	1,69
2.	Безвоздушное распыление	1,00	1,15	-
3	Струйный облив или окунание	1,00	1,07	-
4.	Кисть или ручной валик	1,00	-	-
5.	Шпатель	1,00	-	-

Примечание: прочерк показывает, что данный метод окрашивания конструкции на эти группы сложности не распространяется

¹ Цитируется по изданию «Информационный справочник по технологическим процессам подготовки поверхности и окрашивания судов», СПб, ФГУП ГИПРОРЫБФЛОТ, 2004г.

**Коэффициент, учитывающий технологию нанесения ЛКМ (КП_т)**

Таблица 4.

№ п/п	Метод нанесения ЛКМ	Группа сложности		
		I	II	III
1.	Пневматическое распыление	1,30	1,50	2,20
2.	Безвоздушное распыление	1,25	1,50	-
3	Окрашивание кистью	1,10	-	-

Примечание: прочерк показывает, что данный метод окрашивания конструкции на эти группы сложности не распространяется

Коэффициент, учитывающий условия нанесения ЛКМ (КП_у)

Таблица 5.

№ п/п	Условия нанесения ЛКМ	Минимум	Максимум
1.	Замкнутые хорошо вентилируемые объемы	1,00	1,05
2.	Работа на открытом воздухе при отсутствии ветра	1,00	1,10
3	Работа на открытом воздухе при ветре	1,10	более 1,20

Коэффициент, учитывающий потери ЛКМ при подготовке к нанесению (КП_п)

Таблица 6.

№ п/п	Условия нанесения ЛКМ	Минимум	Максимум
1.	Однокомпонентные ЛКМ	1,00	1,05
2.	Двухкомпонентные ЛКМ	1,05	1,10

Потери в толщине сухой пленки от шероховатости поверхности² ($\Delta TСП_{ш}$),

Таблица 7.

№ п/п	Характеристика окрашиваемой поверхности	Высота пиков R _{ys} . (R _z)	Ориентировочные потери в толщине сухой пленки
1.	Стальная поверхность очищенная дробеструйным методом с применением стальной круглой дроби и покрытая защитным грунтом	0÷50 мкм.	10 мкм.
2.	Стальная поверхность после очистки мелким абразивом	50÷100 мкм	35 мкм.
3.	Стальная поверхность после очистки грубым абразивом	100÷150 мкм	60 мкм.
4.	Старая, сильно прокорродировавшая поверхность	150÷300 мкм	125 мкм.

² Цитируется по изданию «Каталог технических данных судовых покрытий International Marine Coatings», AKZO NOBEL



Пример расчета прогнозируемой потребности в ЛКМ

Дано:

1. Объект окрашивания: внутренняя поверхность емкости (новое строительство, первая окраска) без внутреннего оборудования и коммуникаций.
2. Площадь поверхности подлежащей окрашиванию: 3 тыс. м²
3. Требуемая толщина сухой пленки (система покрытия):
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Грунтовка «Танкпрайм»} - 1 \times 200 = 200 \text{ мкм} \\ \text{Эмаль «Танкпейнт»} - 1 \times 200 = 200 \text{ мкм} \end{array} \right.$$
4. Метод нанесения: безвоздушное распыление (УБР) и кисть
5. Степень подготовки поверхности перед окрашиванием: Sa 2½., достигаемые профиль шероховатости 50-80 мкм
6. При окрашивании предусмотрена организация эффективной приточно-вытяжной вентиляции внутреннего объема емкости.

Решение:

1. По технической документации фирмы-производителя ЛКМ - теоретический расход для грунтовки «Танкпрайм» и эмали «Танкпейнт» составляет по 330 г/м² (на толщину одного сухой пленки 200 мкм.). Соответственно, теоретическая потребность в грунтовке и эмали составит по $\frac{330 \times 3000}{1000} = 990$ кг
2. Прогнозируемые потери ЛКМ при получении сухой пленки толщиной 200 мкм предполагаются из расчета:
 - для слоя грунтовки «Танкпрайм» прогнозируют:
 - потери в неровностях от шероховатой поверхности: $\Delta T C P_{\text{ш}} = 35$ мкм.
 - потери при нанесении на поверхность 1-й группы сложности (по наиболее затратному методу нанесения) УБР: $K_0 = 1,00$
 - потери при нанесении (по наиболее затратному методу нанесения) УБР: $K_1 = 1,25$
 - потери при уносе в вентиляцию: $K_y = 1,05$
 - потери при подготовке материала перед нанесением: $K_n = 1,07$
 - для слоя эмали «Танкпейнт» прогнозируют:
 - потери при нанесении на поверхность 1-й группы сложности методом УБР: $K_0 = 1,00$
 - потери при нанесении (по наиболее затратному методу нанесения) УБР: $K_1 = 1,25$
 - потери при уносе в вентиляцию: $K_y = 1,05$
 - потери при подготовке материала перед нанесением: $K_n = 1,07$
3. Принимаемые для расчета значения теоретического расхода:
 - для слоя грунтовки «Танкпрайм» $200 + 35 = 35$ мкм.: $TP_{L+\Delta u} = \frac{330 \times 235}{200} = 387$ г/м²
 - для слоя эмали «Танкпейнт» 200 мкм: $TP_L = 330$ г/м²



4. Прогнозируемый практический расход ЛКМ для окрашивания площади 3 тыс. м² согласно заданной схемы:

– для грунтовки «Танкпрайм»: $ПП = \frac{387 \times 3000}{1000} \times 1,00 \times 1,25 \times 1,05 \times 1,07 = 1630,48$ кг.

– для слоя эмали «Танкпейнт»: $ПП = \frac{330 \times 3000}{1000} \times 1,00 \times 1,25 \times 1,05 \times 1,07 = 1390,33$ кг

5. Потребность в ЛКМ при заказе:

При отгрузке грунтовки и эмали (комплектация основа:отвердитель = 100:15масс.), на одно полное тарное место по 25кг основы грунтовки и эмали приходится по 3,75кг отвердителя. Тогда, из каждого одного полного тарного места основы грунтовки или эмали перед нанесением будет получено 25+3,75=28,75кг готового к применению материала.

– для грунтовки «Танкпрайм»:

прогнозируемое количество полных тарных мест основы $\frac{1630,48}{28,75} = 56,71$;

с учетом округления до 57 полных тарных мест основы, готового к применению материала будет 57х28,75=1638,75кг (прогнозируемая потребность или количество грунтовки для заказа)

– для слоя эмали «Танкпейнт»:

прогнозируемое количество полных тарных мест основы $\frac{1390,33}{28,75} = 48,36$;

с учетом округления до 49 полных тарных мест основы, готового к применению материала будет 49х28,75=1408,75 кг (прогнозируемая потребность или количество эмали для заказа)

Итого:

Прогнозируемая фактическая потребность в грунтовке «Танкпрайм» - 1638,75 кг

в том числе (при теоретической потребности в грунтовке 990 кг.):

- прогнозируемые потери при нанесении: $\frac{1630,48 - 990}{990} \times 100\% = 64,7\%$

- сверхнормативный (страховочный) запас: $\frac{1638,75 - 1630,48}{1630,48} \times 100\% = 0,5\%$

Прогнозируемая фактическая потребность в эмали «Танкпейнт» - 1408,75 кг

в том числе (при теоретической потребности в эмали 990 кг.):

- прогнозируемые потери при нанесении: $\frac{1390,33 - 990}{990} \times 100\% = 40,5\%$

- сверхнормативный (страховочный) запас: $\frac{1408,75 - 1390,33}{1390,33} \times 100\% = 1,3\%$

